



VLIV RŮZNÝCH FREKVENCÍ MAGNETICKÉHO POLE NA PROKARYOTICKOU A EUKARYOTICKOU BUŇKU

Bakalářská práce

Studijní program: B3944 – Biomedicínská technika
Studijní obor: 3901R032 – Biomedicínská technika
Autor práce: **Lucie Matoušková**
Vedoucí práce: Ing. Lucie Křiklavová, Ph.D.





THE EFFECT OF DIFFERENT FREQUENCIES OF MAGNETIC FIELD ON PROKARYOTIC AND EUKARYOTIC CELL

Bachelor thesis

Study programme: B3944 – Biomedical Technology
Study branch: 3901R032 – Biomedical Technology
Author: **Lucie Matoušková**
Supervisor: Ing. Lucie Kříklavová, Ph.D.



Ústav zdravotnických studií
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lucie Matoušková**
Osobní číslo: **Z12000011**
Studijní program: **B3944 Biomedicínská technika**
Studijní obor: **Biomedicínská technika**
Název tématu: **Vliv různých frekvencí magnetického pole na prokaryotickou a eukaryotickou buňku**
Zadávající katedra: **Ústav zdravotnických studií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cíle práce:

Seznámení se s problematikou magnetického pole.

Vypracování potřebné teorie a zpracování rešerše na dané téma magnetického pole v biologických aplikacích se zaměřením na proměnné pole.

Zpracování metodiky měření a vyhodnocení vzorků (buňky prokaryotické a eukaryotické), které jsou ovlivňovány magnetickým polem.

Teoretická východiska (včetně výstupu z BP):

V laboratoři se budou pozorovat a vyhodnocovat laboratorní modely s reálnými mikroorganismy. Součástí práce bude měření fyzikálních a chemických parametrů daných modelů. Ve světové literatuře je publikováno, že magnetické pole má vliv na biologické tkáně a bakteriální populace (vyjadřovány jsou především pozitivní vlivy, ale některé zdroje uvádějí i negativní, účinky se odvíjejí od použité frekvence a intenzity magnetického pole). Cílem práce bude hodnocení vlivu magnetického pole na mikroorganismy a prověření daných hypotéz vlivu magnetického pole.

Výzkumné předpoklady:

Hlavní výzkumnou otázkou práce je zaměření se na hodnocení magnetického pole a jeho vlivu na populace mikroorganismů (separátně prokaryotickou a eukaryotickou buňku; pro různé frekvence magnetického pole). Dosažené výsledky, které budou samostatně v laboratoři změřeny, budou porovnány s literaturou (dle odborné literatury viz níže a dalších vhodných literárních zdrojů).

Metoda:

Kvantitativní

Technika práce, vyhodnocení dat:

Empiricky se bude pozorovat dané měření a experiment se bude vyhodnocovat jak po stránce porovnávacích experimentů (vzorek vystavený působení magnetického pole v porovnání s kontrolním vzorkem) a dále se provede základní statistické vyhodnocení obou experimentů.

Místo a čas realizace výzkumu:

Práce bude probíhat v laboratořích CxI (budova L), laboratoř biotechnologií, a to v měsících prosinec až březen.

Vzorek:

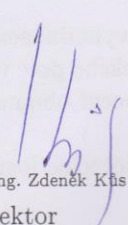
Hodnoceným vzorkem budou populace mikroorganismů (prokaryotní a eukaryotní buňky), kde dané kmeny ne/budou vystaveny magnetickému poli.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy: 50 - 70 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury: viz příloha

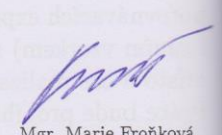
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lucie Křiklavová, Ph.D.
Ústav nových technologií a aplikované informatiky

Datum zadání bakalářské práce: 30. dubna 2014

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. dubna 2015


prof. Dr. Ing. Zdeněk Křis
rektor




Mgr. Marie Froňková
pověřena vedením ústa

V Liberci dne 31. ledna 2015

Příloha zadání bakalářské práce

Seznam odborné literatury:

1. MAYER, Daniel. Aplikovaný elektromagnetismus: úvod do makroskopické teorie elektromagnetického pole pro elektrotechnické inženýry. 2. vyd. České Budějovice: Kopp, 2012, 538 s. ISBN 978-80-7232-436-1.
2. NOVOTNÝ, Karel. Elektromagnetické pole a vlny. Dotisk 2. vyd. Praha: ČVUT, 2004, 198 s. ISBN 80-01-02429-6.
3. KATO, M.: Electromagnetics in Biology, Springer 2006, ISBN-13 978-4-431-27913-6.
4. SEDLÁK, Bedřich. Elektřina a magnetismus. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Academia, 2002, 632 s. ISBN 80-200-1004-1.
5. Furik, Daniel. Vliv elektromagnetického pole na lidský organismus. Plzeň, 2013. bakalářská práce (Bc.). ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. Fakulta elektrotechnická. Dostupné z: <https://portal.zcu.cz/portal/prohlizeni.html>
6. Bohatá, Martina. Vliv magnetického pole na bakteriální biofilm. Bakalářská práce, 2013. [online]. Dostupné z: https://stag-new.tul.cz/wps/PA_StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet_typ=1&adipidno
7. CAREY, Roberta. SCHUSTER, Mindy. MCGOWAN, Karin. Lékařská mikrobiologie v klinických případech. 1.vyd. Praha: Triton, 2011. 321 s. ISBN 978-80-7387-480-3
8. PHARMA-REPORTS. Klinicky významné bakterie. 1. Vyd. Praha: Triton, 2012. 123 s. ISBN 978-80-7387-588-6
9. RULÍK, M. a kol. Mikrobiální biofilmy. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. 447 s. ISBN 978-80-244-2747-8.
10. FUNK, R. H. W., MONSEES, T., & ÖZKUCUR, N. (2009). Electromagnetic effects From cell biology to medicine. Progress in Histochemistry and Cytochemistry, 43(4), 177264. doi:10.1016/j.proghi.2008.07.001
11. GOODMAN, E. M., GREENEBAUM, B., & MARRON, M. T. (1995). Effects of El 12. POTENZA, L., UBALDI, L., DE SANCTIS, R., DE BELLIS, R., CUCCHIARINI, L., & DACH, M. (2004). Effects of a static magnetic field on cell growth and gene expression in Escherichia coli. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 561(12), 5362. doi:10.1016/j.mrgentox.2004.03.009

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 30. 4. 2015

Podpis: 

Poděkování:

Děkuji Ing. Lucii Křiklavové, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, cenné rady a věcné připomínky. Mé poděkování patří také Ing. Martinu Truhlářovi, Ph.D. za sestavení přípravku generujícího magnetické pole a za pomoc při zpracovávání teorie magnetického pole. Velké díky patří také Bc. Tomáši Janouškovi a Mgr. Petře Škodové za pomoc v laboratoři a Jaroslavu Horákovi za korekturu a morální podporu. V neposlední řadě děkuji také celé své rodině za podporu.

Anotace:

MATOUŠKOVÁ, LUCIE. *Vliv různých frekvencí magnetického pole na prokaryotickou a eukaryotickou buňku*, Ing. Lucie Křiklavová, Ph.D., Liberec: Ústav zdravotnických studií, Technická univerzita v Liberci, 2015, 64 s., 3 přílohy, Bakalářská práce

Cílem této bakalářské práce je pozorovat vliv různých frekvencí magnetického pole na prokaryotickou a eukaryotickou buňku. Práce se zabývá působením různých frekvencí (50, 250 a 500 Hz) točivého magnetického pole, pro srovnání je pozorován i vliv pole stacionárního a také kontrolní vzorek (tj. bez expozice mag. poli). Cílem je zhodnotit rozdíly v působení na prokaryotickou a eukaryotickou buňku, kde zkoumanými mikroorganismy jsou bakterie *Escherichia coli* a kvasinka *Saccharomyces cerevisiae*. Bylo zjištěno, že *Escherichia coli* je vůči magnetickému poli (30 mT) značně odolná. Na kvasinku *Saccharomyces cerevisiae* působilo stacionární magnetické pole (30 mT) mírně inhibičně (7,5 %) a točivé magnetické pole (30 mT, 250 Hz) mělo na kvasinku naopak pozitivní vliv (17,8 %).

Klíčová slova: Točivé magnetické pole, Stacionární magnetické pole, Prokaryotická buňka, Eukaryotická buňka, *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*

Abstract:

MATOUŠKOVÁ, LUCIE. *The effect of different frequencies of magnetic field on prokaryotic and eukaryotic cell*, Ing. Lucie Křiklavová, Ph.D., Liberec: Institute of Health Studies, Technical University of Liberec, 2015, 64 p., 3 attachments, Bachelor Thesis

The aim of this bachelor thesis is to observe the effect of different frequencies of magnetic field on prokaryotic and eukaryotic cell. The thesis deals with different frequencies (50, 250, and 500 Hz) of the rotating magnetic field. To draw a comparison, the effect of a stationary field and a control sample (i.e. without exposure to the magnetic field) has been observed. The objective is to assess the differences in the effect on prokaryotic and eukaryotic cell, where the studied microorganisms are the bacteria *Escherichia coli* and the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. It has been found out that *Escherichia coli* is highly resistant to the magnetic field (30 mT). The stationary magnetic field (30 mT) has an inhibitory effect on the yeast *Saccharomyces cerevisiae* (7.5 %) and the rotating magnetic field (30 mT, 250 Hz) has a positive effect on the yeast (17.8 %).

Key words: Rotating magnetic field, Stationary magnetic field, Prokaryotic cell, Eukaryotic cell, *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae*

OBSAH

Seznam obrázků, tabulek a grafů	11
Seznam symbolů a zkratek	12
1 Úvod	13
TEORETICKÁ ČÁST	14
2 Magnetické pole	14
2.1 Základní pojmy	14
2.2 Základní dělení magnetického pole	18
2.3 Stacionární magnetické pole	18
2.4 Kvazistacionární magnetické pole	19
2.5 Magnetické vlastnosti látek	19
3 Prokaryotická buňka	21
3.1 Bakterie	21
3.1.1 <i>Escherichia coli</i>	22
4 Eukaryotická buňka	24
4.1 Kvasinky	25
4.1.1 <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	25
5 Vliv (elektro)magnetického pole na mikroorganismy	27
PRAKTICKÁ ČÁST	32
6 Použité materiály a metody	32
6.1 Kultivační média	32
6.2 Množení bakterií a kvasinek	32
6.3 Absorbance	33
6.4 CHSK test	34
6.5 Fluorescenční barvení	34
7 Návrh magnetického pole	36
7.1 Točivé magnetické pole	36
7.1.1 Návrh přípravku generujícího točivé magnetické pole	36
7.1.2 Realizace přípravku generujícího točivé magnetické pole	37
7.1.3 Aplikace vzorků a nastavení přípravku	38
7.2 Stacionární magnetické pole	39
7.2.1 Návrh přípravku generujícího stacionární magnetické pole	40
7.2.2 Realizace přípravku generujícího stacionární magnetické pole	40
7.2.3 Aplikace vzorků a nastavení přípravku	41

8 Použité mikroorganismy	43
8.1 <i>Escherichia coli</i> v praxi	43
8.2 <i>Saccharomyces cerevisiae</i> v praxi.....	43
9 Vyhodnocení.....	44
9.1 Zpracování vzorků	44
9.2 Výsledky a diskuze	45
9.3 Srovnání frekvencí točivého magnetického pole	53
10 Závěr	56
Seznam bibliografických citací	58
Přílohy	62
Příloha A	62
1. Tabulka: Viabilita buněk, 1. experiment.....	62
2. Tabulka: Viabilita buněk, 2. experiment.....	62
3. Tabulka: Viabilita buněk, 3. experiment.....	62
Příloha B.....	63
1. Graf: Počet buněk, <i>E. coli</i> , 1. experiment	63
2. Graf: Počet buněk, <i>E. coli</i> , 2. experiment	63
3. Graf: Počet buněk, <i>E. coli</i> , 3. experiment	63
Příloha C	64
1. Graf: Počet buněk, <i>S. cerevisiae</i> , 1. experiment	64
2. Graf: Počet buněk, <i>S. cerevisiae</i> , 2. experiment	64
3. Graf: Počet buněk, <i>S. cerevisiae</i> , 3. experiment	64

Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázek 1: Poyntingův vektor	14
Obrázek 2: Prokaryotická buňka typická pro bakterie.....	21
Obrázek 3: Buněčná stěna grampozitivních a gramnegativních bakterií	22
Obrázek 4: <i>Escherichia coli</i> pod elektronovým mikroskopem	23
Obrázek 5: Eukaryotická buňka kvasinky	24
Obrázek 6: <i>Saccharomyces cerevisiae</i> pod elektronovým mikroskopem	26
Obrázek 7: Zapojení vinutí s kruhovou symetrií	36
Obrázek 8: Rotace vektorů magnetické indukce v čase	37
Obrázek 9: Celkové zapojení přípravku generujícího točivé magnetické pole	38
Obrázek 10: Způsob rozmístění zkumavek v reaktoru (pohled shora).....	39
Obrázek 11: Počítačová simulace magnetického pole.....	40
Obrázek 12: Schéma ocelové podkovy s rozměry.....	41
Obrázek 13: Způsob použití permanentního magnetu	42
Tabulka 1: Maxwellovy rovnice	15
Tabulka 2: Přehled hlavních rozdílů mezi prokaryotickou a eukaryotickou buňkou	25
Graf 1: Absorbance, <i>E. coli</i> , 1. měření (30 mT, 50 Hz)	45
Graf 2: Absorbance, <i>E. coli</i> , 2. měření (30 mT, 250 Hz)	45
Graf 3: Absorbance, <i>E. coli</i> , 3. měření (30 mT, 500 Hz)	46
Graf 4: Absorbance, <i>S. cerevisiae</i> , 1. měření (30 mT, 50 Hz).....	47
Graf 5: Absorbance, <i>S. cerevisiae</i> , 2. měření (30 mT, 250 Hz).....	47
Graf 6: Absorbance, <i>S. cerevisiae</i> , 3. měření (30 mT, 500 Hz).....	48
Graf 7: CHSK, <i>E. coli</i> , 1. měření (30 mT, 50 Hz).....	49
Graf 8: CHSK, <i>E. coli</i> , 2. měření (30 mT, 250 Hz)	49
Graf 9: CHSK, <i>E. coli</i> , 3. měření (30 mT, 500 Hz)	49
Graf 10: CHSK, <i>S. cerevisiae</i> , 1. měření (30 mT, 50 Hz)	50
Graf 11: CHSK, <i>S. cerevisiae</i> , 2. měření (30 mT, 250 Hz)	51
Graf 12: CHSK, <i>S. cerevisiae</i> , 3. měření (30 mT, 500 Hz)	51
Graf 13: Srovnání absorbance u jednotlivých frekvencí, <i>E. coli</i>	53
Graf 14: Srovnání absorbance u jednotlivých frekvencí, <i>S. cerevisiae</i>	53
Graf 15: Srovnání CHSK u jednotlivých frekvencí, <i>E. coli</i>	54
Graf 16: Srovnání CHSK u jednotlivých frekvencí, <i>S. cerevisiae</i>	55

Seznam symbolů a zkratk

Symbol	Veličina	Jednotka
\vec{B}	magnetická indukce	[T]
Φ	magnetický indukční tok	[Wb]
\vec{H}	intenzita magnetického pole	[A/m]
μ_0	permeabilita vakua	[H/m]
\vec{F}_m	magnetická síla	[N]
\vec{E}	intenzita elektrického pole	[V/m]
\vec{D}	elektrická indukce	[C/m ²]
Ψ	tok elektrické intenzity	[V·m]
Q	celkový náboj	[C]
I	elektrický proud	[A]
\vec{J}	hustota proudu	[A/m ²]
εF	indukované elektromotorické napětí	[V]
ρ	objemová hustota volného náboje	[C/m ³]
f	frekvence	[Hz]
\vec{v}	rychlost	[m/s]
S	plocha	[m ²]
l	délka	[m]
r	poloměr	[m]
α	úhel	[°]
t	čas	[s]
π	konstanta	-
DC	stejnosměrný zdroj napětí	-
DNA	deoxyribonukleová kyselina	-

1 Úvod

Tématem této bakalářské práce je vliv různých frekvencí magnetického pole na prokaryotickou a eukaryotickou buňku. Vzhledem k tomu, že (elektro)magnetické pole je nedílnou součástí našeho každodenního života, stoupá v posledních letech počet diskuzí a výzkumů ohledně možného vlivu tohoto pole na živé organismy. Magnetismus je všude kolem nás. Ať už ten přirozený v podobě magnetického pole Země a v podobě magnetického pole každé buňky. Tak také narůstá počet nových technologií založených na magnetismu.

V současné době existuje nespočet využití magnetického pole, především ve zdravotnictví a strojírenském průmyslu. Denně se s ním setkává každý z nás v podobě mobilních telefonů, počítačů a jiných elektronických zařízení. Nicméně výzkum a rozvoj využití magnetického pole neustále pokračuje. Kvůli všeobecnému rozšíření magnetických a elektromagnetických polí je tedy nutné také prozkoumat jejich interakci s živými organismy, abychom mohli případně zabránit nežádoucímu vlivu na člověka nebo naopak najít další možné využití těchto polí. Výsledky mnoha studií jsou často velmi rozporuplné nebo dokonce protichůdné. Zatím se nepodařilo potvrdit ani vyvrátit negativní účinek na buňky a tedy ani na člověka. V praktické části práce se proto pokusím prozkoumat a ověřit hypotézu, že by magnetické pole mohlo živé organismy pozitivně či negativně ovlivňovat.

Pro experiment byly vybrány dva mikroorganismy, kde každý zastupuje jednu ze dvou nadříší. Bakterie *Escherichia coli* patří do nadříše prokaryota. A jako zástupce eukaryot byla zvolena kvasinka *Saccharomyces cerevisiae*. Pro pochopení rozdílu mezi prokaryotickou a eukaryotickou buňkou a seznámení se s námi použitými mikroorganismy byla vypracována potřebná teorie. Dále je vypracována rešerše na téma doposud známého vlivu (elektro)magnetického pole na mikroorganismy.

Hlavním cílem této práce je na základě provedených experimentů zhodnotit, jaký vliv mají na mikroorganismy různé frekvence (50, 250 a 500 Hz) točivého magnetického pole. Pro srovnání souběžně probíhal i experiment s polem stacionárním. Dále se pokusím zhodnotit, zda je rozdíl mezi účinkem na *Escherichii coli* a na *Saccharomyces cerevisiae*, které se liší typem buňky. Experimenty jsou prováděny v laboratoři biotechnologií na Technické Univerzitě v Liberci, Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace.

TEORETICKÁ ČÁST

2 Magnetické pole

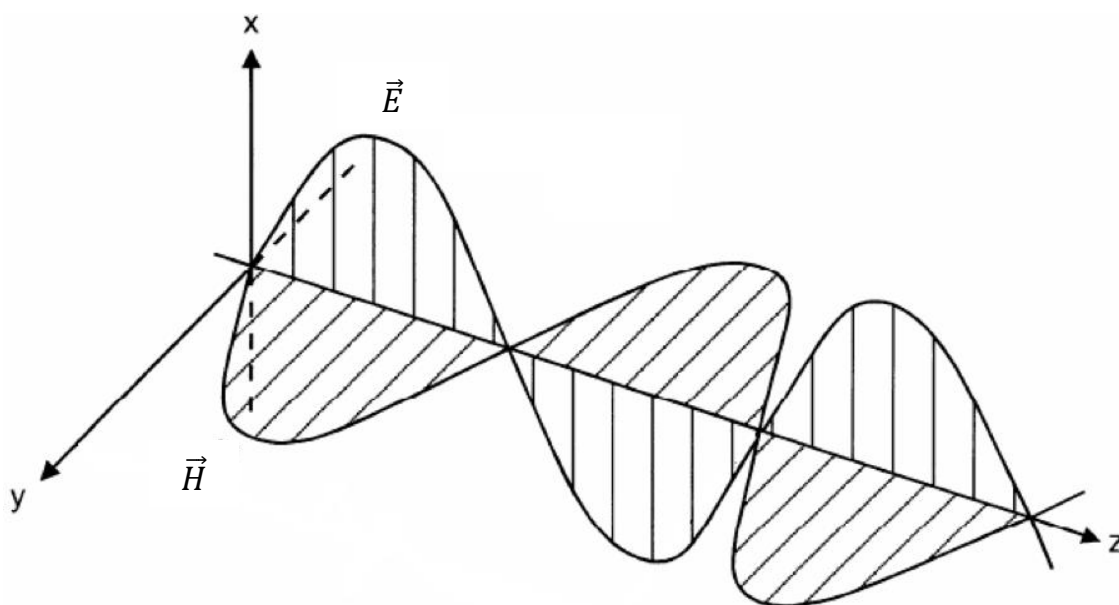
2.1 Základní pojmy

Elektromagnetické pole je tvořeno dvěma neoddělitelnými složkami – polem elektrickým a polem magnetickým. Neustále vzniká interakce, pohybem magnetického pole vzniká elektrické a naopak. Jejich vlastní propojení vyjádřil James Clerk Maxwell ve svých rovnicích. Elektromagnetické pole je podle Maxwellových rovnic v podstatě vlnění. Elektromagnetické vlny se chovají podobně jako světelné záření, a proto pro ně platí stejné zákony pro odraz a lom, a vykazují stejné jevy – interferenci, polarizaci a ohyb. [1, 2]

Elektromagnetická vlna se skládá z vektoru intenzity elektrického pole \vec{E} a vektoru intenzity magnetického pole \vec{H} , které jsou na sebe navzájem kolmé a zároveň jsou kolmé na směr, jímž se tato vlna šíří. Směr šíření nazýváme Poyntingův vektor, značíme ho \vec{S} a jeho vztah k intenzitám elektrického a magnetického pole je následující:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

Názorně můžeme směr tohoto šíření a rozložení vektorů vidět na Obrázku 1.



Obrázek 1: Poyntingův vektor [3]

Maxwellovy rovnice popisují vztah mezi elektrickou a magnetickou složkou elektromagnetického pole. Lze je zapsat buď v integrálním, nebo diferenciálním tvaru. Zatímco v integrálním tvaru popisují elektromagnetické pole v určité prostorové oblasti, v diferenciálním tvaru ho popisují pouze v určitém bodě této oblasti. V následující tabulce jsou znázorněny Maxwellovy rovnice jak v integrálním tak v diferenciálním tvaru. [1]

Tabulka 1: Maxwellovy rovnice [1]

	Integrální tvar	Diferenciální tvar
1. Maxwellova rovnice	$\oint_c \vec{H} d\vec{l} = I + \frac{d\Psi}{dt}$	$rot \vec{H} = \vec{J} + \frac{d\vec{D}}{dt}$
2. Maxwellova rovnice	$\oint_c \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$	$rot \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$
3. Maxwellova rovnice	$\oint_s \vec{D} d\vec{S} = Q$	$div \vec{D} = \rho$
4. Maxwellova rovnice	$\oint_s \vec{B} d\vec{S} = 0$	$div \vec{B} = 0$

Maxwellovy rovnice jsou v integrálním tvaru sice názorné, je však výhodnější pracovat s jejich diferenciálním tvarem, ve kterém si je následně popíšeme:

1. Maxwellova rovnice (zákon celkového proudu, zobecněný Ampérův zákon) říká, že proud okolo sebe vyvolává magnetické pole, které je nejsilnější v nejbližším místě k protékajícímu proudu a se vzdáleností slábne.

Rotace vektoru intenzity magnetického pole \vec{H} je rovna součtu hustoty vodivého proudu \vec{J} a hustoty posuvného (Maxwellova) proudu $\frac{d\vec{D}}{dt}$:

$$rot \vec{H} = \vec{J} + \frac{d\vec{D}}{dt}$$

2. Maxwellova rovnice (Faradayův indukční zákon) říká, že změna magnetického pole vyvolává elektrické pole.

Rotace vektoru intenzity elektrického pole \vec{E} je rovna záporně vzaté časové derivaci magnetické indukce \vec{B} :

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$$

3. Maxwellova rovnice (Gaussova věta) říká, že čím je více náboje v objemu, tím je větší energie.

Divergence vektoru elektrické indukce \vec{D} je rovna objemové hustotě volného náboje ρ :

$$\text{div } \vec{D} = \rho$$

4. Maxwellova rovnice (zákon spojitosti magnetického indukčního toku) je závislá na 1. Maxwellově rovnici a říká, že magnetický indukční tok v uzavřené orientované ploše je nulový. To znamená, že magnetické pole nemá žádný náboj.

Divergence vektoru magnetické indukce \vec{B} je rovna nule.

$$\text{div } \vec{B} = 0$$

Magnetické pole je součástí elektromagnetického pole. Jedná se o fyzikální pole, které se projevuje silovými účinky. Vzniká okolo předmětů, jimiž protéká proud (u permanentních magnetů, které proud pro vznik magnetického pole nepotřebují, vzniká magnetické pole na základě vázaných elektrických proudů uvnitř objektu). Toto pole je popisováno fyzikálními veličinami magnetická indukce a intenzita magnetického pole. Zdrojem magnetického pole může být buď permanentní magnet, nebo tzv. elektromagnet. Permanentní magnety jsou zdrojem stálého magnetického pole, vyskytují se v přírodě ve formě hornin, nebo se dají vyrobit z feromagnetických látek. Elektromagnety jsou vodiče, kterými protéká elektrický proud (pohybující se elektricky nabitě částice vytváří magnetické pole). [1, 4]

Magnet je trvale nebo dočasně zmagnetované těleso, které kolem sebe vytváří magnetické pole. Existují dva druhy magnetů: permanentní magnety a elektromagnety. Zatímco permanentní magnety vytvářejí magnetické pole bez nutnosti dalších vlivů a dají se vyrobit zmagnetováním, u elektromagnetů vzniká magnetické pole pouze v případě, že vodičem protéká elektrický proud. Magnet má severní a jižní pól. Nesouhlasné póly dvou různých magnetů se přitahují, souhlasné odpuzují.

Magnetická indukce je vektorová veličina popisující silové účinky magnetického pole na nabitě částice, které se v tomto poli vyskytují. [1]

$$\vec{B} = \frac{\vec{F}_m}{Q v}$$

Magnetický indukční tok vyjadřuje hustotu magnetické indukce na určitou plochu, respektive počet indukčních čar procházejících danou plochou, kolmou na směr orientace magnetických indukčních čar. [1]

$$\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S}$$

Magnetické indukční čáry slouží ke grafickému znázornění vlastností magnetického pole, konkrétně magnetické indukce. Tečna v daném bodě znázorňuje směr vektoru magnetické indukce. Magnetické indukční čáry jsou uzavřené a orientované od severního pólu k jižnímu. Magnetické indukční čáry udávají, kromě směru magnetického pole, také velikost magnetické indukce v daném místě pole. To znázorňuje jejich hustota v daném místě, přičemž platí, že čím je větší hustota indukčních čar, tím je v tomto místě větší magnetická indukce. [1]

Orientaci indukčních čar lze určit pomocí Ampérova pravidla pravé ruky. Pokud uchopíme přímý vodič pravou rukou tak, že palec ukazuje směr elektrického proudu ve vodiči, pak pokrčené prsty ukazují orientaci magnetických indukčních čar. Cívkou uchopíme do pravé ruky tak, že ohnuté prsty ukazují směr elektrického proudu v jejích závitech a odtažený palec pak ukazuje severní pól cívky.

Intenzita magnetického pole je vektorová fyzikální veličina. Intenzita závisí na faktorech, které toto pole vytváří, naopak nezávisí na okolnostech a prostředí, v němž se toto pole vyskytuje. [1]

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0}$$

Permeabilita je fyzikální veličina, která vyjadřuje vliv určitého materiálu nebo prostředí na magnetické pole. Permeabilita vakua μ_0 je konstanta. Relativní permeabilita μ_r udává podíl mezi permeabilitou daného prostředí a permeabilitou vakua. [1]

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

2.2 Základní dělení magnetického pole

Podle prostorového rozložení lze magnetického pole rozdělit na homogenní a nehomogenní. Homogenní pole je takové, ve kterém je hodnota magnetické indukce konstantní velikosti. Pokud tomu tak není, pole je nehomogenní. [1]

Podle časové závislosti - pokud je magnetické pole časově stálé a neměnné, jedná se o pole stacionární. Pokud magnetické pole časově neměnné není, hovoříme o poli nestacionárním. Nestacionární magnetické pole vzniká, pokud vodičem protéká střídavý proud s proměnlivou amplitudou. Intenzita magnetické indukce se mění s velikostí elektrického proudu. [1]

2.3 Stacionární magnetické pole

Stacionární magnetické pole je takové magnetické pole, jehož vlastnosti se nemění s časem. Vzniká tehdy, pokud je pohyb elektricky nabitých částic rovnoměrný. Vyskytuje se okolo permanentních magnetů se stálou polohou a okolo vodičů, které mají neměnný proud a stálou polohu. Vzniká tehdy, když nehybným vodičem protéká stejnosměrný proud o konstantní velikosti. [1]

Magnetická síla působící v okolí vodiče, závisí na magnetické indukci, protékajícím proudu, délce vodiče a na úhlu, který svírají magnetické indukční čáry s vodičem.

$$F_m = B I l \sin \alpha$$

Jelikož je ale magnetická síla kolmá na vektor rychlosti částic a zároveň i na magnetickou indukci, lze použít vztah, kde magnetická síla závisí na velikosti a rychlosti náboje, na který působí. Velikost síly je úměrná rychlosti náboje.

$$\vec{F}_m = Q (\vec{v} \times \vec{B})$$

Směr magnetické síly určíme pomocí Flemingova pravidla levé ruky. Položíme-li levou ruku tak, aby prsty ukazovaly směr pohybujících se nábojů (kladných) a indukční čáry vstupovaly do dlaně, ukazuje palec směr působící síly. Pro záporné náboje je směr síly opačný.

2.4 Kvazistacionární magnetické pole

Časově proměnné magnetické pole nazýváme polem nestacionárním. Zvláštním případem tohoto pole je pole kvazistacionární. To je pole, které je sice časově proměnné, ale časové změny jsou dostatečně pomalé. Vlna se v obvodu šíří nekonečnou rychlostí, amplituda v celém obvodu a čas je stejná. [1, 4]

Teorie nestacionárního (a kvazistacionárního) pole nám říká, že magnetické pole nevzniká pouze v časově neproměnné soustavě. Zdrojem nestacionárního pole jsou posuvné proudy, vzniká tedy i se změnou elektrického pole v čase. Jak již bylo zmíněno dříve elektrické a magnetické pole tvoří dohromady pole elektromagnetické a tyto jeho dvě složky jsou neoddělitelné. Pokud popisujeme pouze jednu jeho složku, například pole magnetické, je druhá složka minimální a je v úvahách zanedbávána. Elektromagnetické pole je popisováno Maxwellovými rovnicemi, z kterých vyplývá, že toto pole je závislé na časových změnách a na rychlosti těchto změn. [1, 2, 4]

Maxwellovy rovnice se pro kvazistacionární pole nemění. Přestože stacionární a kvazistacionární pole jsou popisovány stejnými rovnicemi, působení těchto dvou polí na nabitou částici se liší. Matematický popis těchto dvou polí je tedy stejný, ovšem fyzikální podmínky se liší. [4]

Pro popis kvazistacionárního pole využíváme elektromagnetickou indukci, která byla objevena M. Faradayem, a podle něj je také nazýván zákon elektromagnetické indukce jako Faradayův indukční zákon. Ten nám říká, že změna magnetického pole vyvolává indukovaný proud. Pro výpočet indukovaného elektromotorického napětí využíváme Faradayův indukční zákon. [4]

$$\varepsilon_F(t) = -\frac{d\Psi}{dt}$$

2.5 Magnetické vlastnosti látek

U většiny látek, pokud se nevyskytují v magnetickém poli, jsou atomové momenty orientovány chaoticky. Výsledný magnetický moment makroskopického množství takové látky je roven nule. Po vložení do vnějšího magnetického pole se však tento moment zorientuje do směru pole, což znamená, že je látka zmagnetována. [4]

Magnetické vlastnosti látek se liší podle typu látky a uspořádání atomů. Pokud je magnetické pole dostatečně silné, stáčí spin elektronů v atomovém obalu. Látky se

mohou v magnetickém poli chovat různě a také mají rozdílné účinky na toto pole. Podle těchto vlastností rozlišujeme látky na diamagnetické, paramagnetické a feromagnetické. [4]

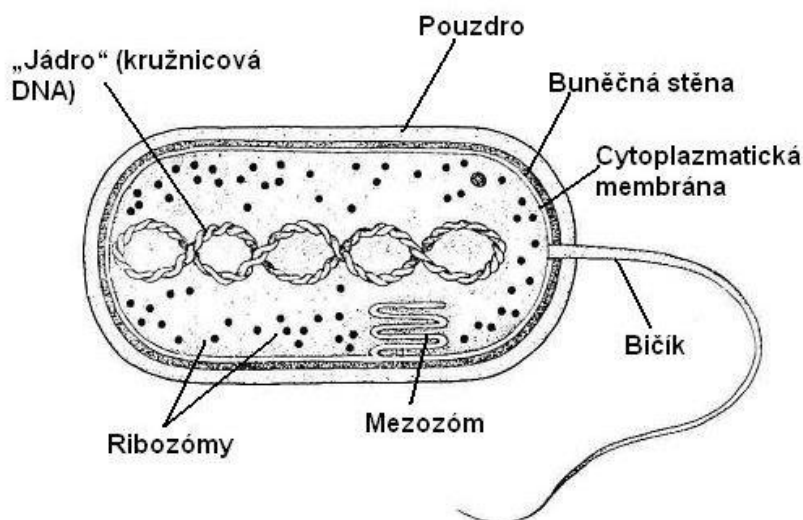
Diamagnetické látky: v magnetickém poli se jejich výsledný magnetický moment otáčí opačně než je celkový moment pole, proto toto pole nepatrně zeslabují. Do této skupiny patří některé kovy, dále nekovové pevné látky, kapaliny a plyny (ale také například plazma) a většina látek organického původu. [4]

Paramagnetické látky: v magnetickém poli se magnetický moment těchto látek orientuje shodně s momentem pole. Pokud tyto látky nejsou v magnetickém poli, neprojevují magnetické vlastnosti. Patří sem většina kovů, některé soli v krystalickém stavu, vodné roztoky těchto solí a některé plyny (např. kyslík). [4]

Feromagnetické látky: v magnetickém poli se orientují rovněž ve směru magnetického momentu pole. Dosahují velkých magnetických toků, proto jsou využívány v magnetických obvodech. Tyto látky lze trvale zmagnetovat. Nejznámějšími představiteli feromagnetických prvků jsou železo, nikl a kobalt. [4]

3 Prokaryotická buňka

Prokaryotická buňka je menší a evolučně starší než buňka eukaryotická a vyznačuje se také jednodušší stavbou. Neobsahuje pravé jádro ale pouze cirkulární DNA, která je uložena volně v cytoplasmě. Prokaryotické organismy jsou vždy jednobuněčné, mohou tvořit nanejvýš kolonie. Mezi prokaryotické organismy patří kromě bakterií ještě sinice a prochlorofyty. [5] Na Obrázku 2 je popsána prokaryotická buňka typická pro bakterie.



Obrázek 2: Prokaryotická buňka typická pro bakterie [5]

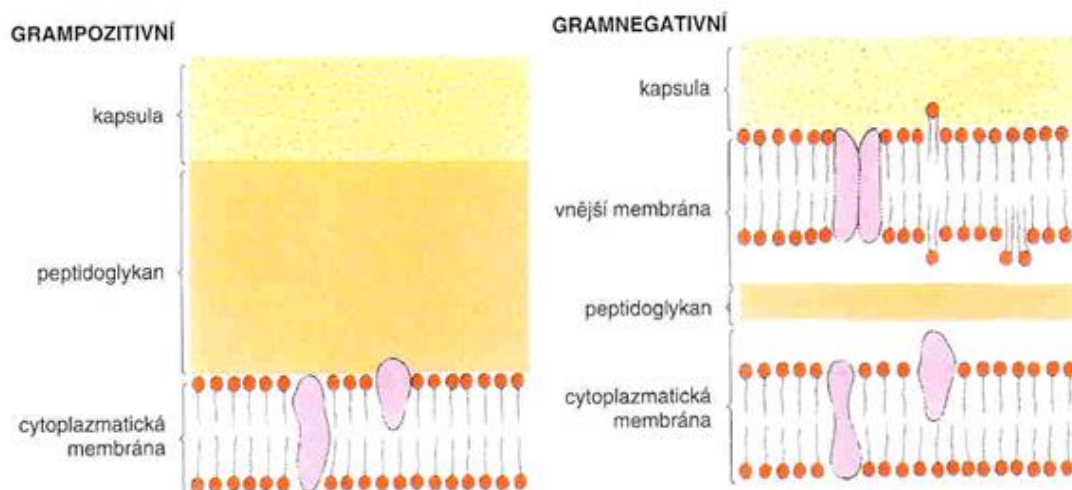
3.1 Bakterie

Bakterie jsou nejrozšířenější skupinou organismů na světě. Bakterií nazýváme jednobuněčné prokaryotické organismy. Mívají kokovitý či tyčinkovitý tvar. Koky dále dělíme na monokoky, diplokoky, stafylokoky, streptokoky a sarciny. [6]

Bakterie nemají pravé jádro ale jen tzv. nukleoid, což je kruhová DNA uložená volně v cytoplasmě. Prokaryota jsou chráněna buněčnou stěnou, která obsahuje peptidoglykany. Bakterie obsahuje též ribozomy, cytoplasmatickou membránu či plasmidy, které většinou buňce přinášejí určitou výhodu (například odolnost proti antibiotikům). [5, 7]

Podle struktury buněčné stěny můžeme bakterie rozdělit na grampozitivní a gramnegativní (viz Obrázek 3). Grampozitivní bakterie se pomocí Gramova barvení

barví modře. Stěna bakterií je tlustší, protože je tvořena silnou vrstvou peptidoglykanu, který dává buňce pevný a konstantní tvar. Oproti tomu gramnegativní bakterie se barví růžově. Jejich stěna se skládá z vnější membránové vrstvy a vnitřní pevné peptidoglykanové vrstvy. Vnější třívrstevná membrána obsahuje proteiny, lipopolysacharidy a lipoproteiny. Stěna je tenčí, ale zato složitěji uspořádaná než u bakterií grampozitivních. [6]



Obrázek 3: Buněčná stěna grampozitivních a gramnegativních bakterií [8]

Prokaryotické organismy mohou být jak heterotrofní tak autotrofní. Heterotrofní organismy nejsou na rozdíl od autotrofních schopny samy vytvářet organické látky z anorganických a jsou proto ve své výživě závislé na existenci autotrofních organismů. U autotrofních organismů je zdrojem uhlíku oxid uhličitý a energie se získává ze světelné energie nebo oxidací anorganických látek. Můžeme je také rozdělit podle toho, kde žijí na bakterie žijící v půdě, vodě a vzduchu. Osidlují tedy všechny typy prostředí, žijí a prospívají v širokém rozmezí teplot, přežívají vysoké hodnoty radiace. Bakteriální spory mohou zůstat životaschopné mnoho let. [9]

Mechanismem růstu je u bakterií syntéza všech komponent těla, čímž se zvyšuje hmotnost i objem jedince. Bakterie se rozmnožují nepohlavně, a to většinou příčným dělením. Dělení jádra neprobíhá mitoticky, ale dojde pouze k replikaci DNA. Při dostatečném počtu bakterií v dané populaci lze mluvit o kolonii. [5]

3.1.1 *Escherichia coli*

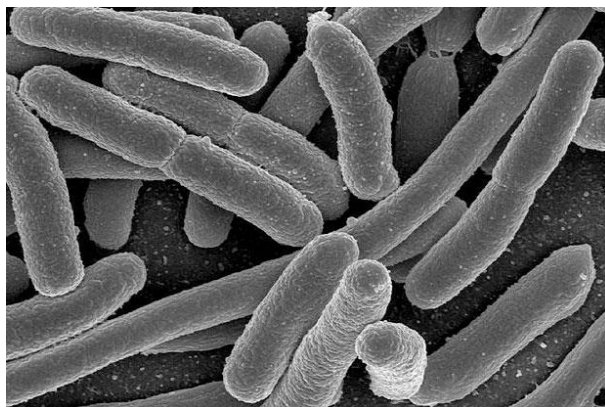
E. coli objevil a popsal v roce 1885 německý bakteriolog a pediatr Theodor Escherich. Jedná se o gramnegativní, fakultativně anaerobní bakterii patřící do kmene

Proteobacteria a do čeledi Enterobacteriaceae. Její tyčinkovité buňky dosahují délky asi 2 μm a tloušťky 0,5 μm . Pohybuje se pomocí bičíku. Toleruje teploty od 10 do 46 °C, optimální růst však vykazuje při teplotě 37 °C. Rozsah ideálního pH pro růst je 6 – 8. [10]

Escherichia coli je běžnou bakterií vyskytující se v trávicím traktu teplokrevných organismů. U člověka se vyskytuje konkrétně v tlustém střevě a dolní části tenkého střeva. Většina kmenů *E. coli* je nejen neškodná, ale dokonce prospěšná, protože svému hostiteli dodává vitamín K a chrání jeho zažívací trakt před osídlením patogenními bakteriemi. Při přemnožení nebo během výskytu jiných variant (sérotypů), či výskytu na netypických místech může být ovšem zdrojem infekcí. Výskyt *E. coli* není omezen jen na střeva, dobře přežívá i mimo tělo. To umožňuje využití jejího průkazu jako dobrého indikátoru fekálního znečištění okolního prostředí, zejména vody. [10, 11]

Obvyklými zdroji infekce touto bakterií je již zmíněná kontaminovaná voda, případně potraviny. Především pak špatně umytá zelenina nebo ovoce. Zvýšené riziko nákazy je také při cestování, především do rozvojových zemí, nebo také epidemie v jeslích, školkách a školách. [12]

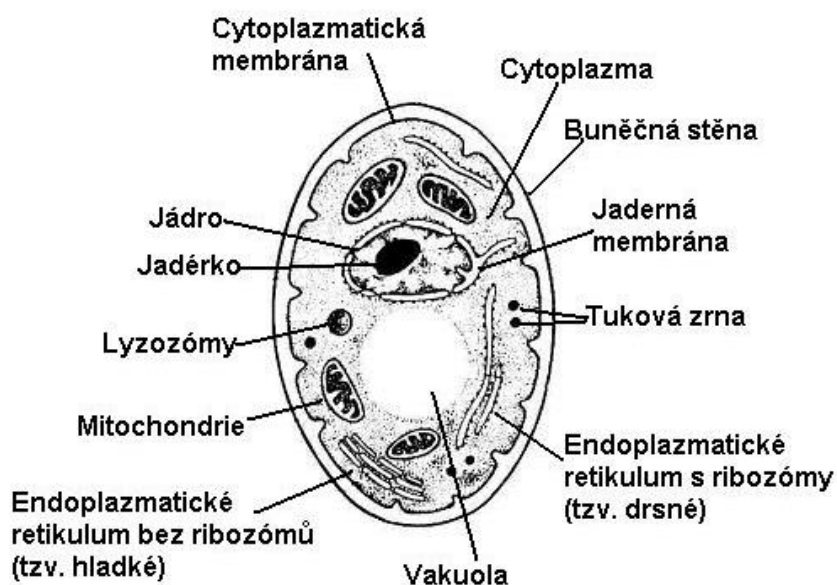
E. coli je jednou z nejlépe prostudovaných bakterií a proto se také velmi často používá v laboratorním prostředí jako modelový organismus. Jak již bylo popsáno výše, *Escherichia coli* byla také jedním z nejčastěji používaných mikroorganismů při experimentech s působením (elektro)magnetického pole. Kultivačně je *E. coli* nenáročná a roste rychle na mnoha různých substrátech. [10] Následující fotografie (Obrázek 4) zobrazuje, jak vypadá *Escherichia coli* pod elektronovým mikroskopem.



Obrázek 4: *Escherichia coli* pod elektronovým mikroskopem [13]

4 Eukaryotická buňka

Eukaryotická buňka je na rozdíl od prokaryotické větší, evolučně vyspělejší, obsahuje pravé jádro a tvoří i mnohobuněčné organismy. Její organely jsou od cytoplazmy odděleny biomembránou a také obsahuje vyšší počet vnitřně strukturovaných organel. Existují tři základní typy eukaryotické buňky – buňka rostlinná, buňka živočišná a buňka hub. [14] Na Obrázku 5 je popsána stavba eukaryotické buňky (konkrétně kvasinky). V Tabulce 2 jsou znázorněny hlavní rozdíly mezi buňkou prokaryotickou a buňkou eukaryotickou.



Obrázek 5: Eukaryotická buňka kvasinky [14]

Tabulka 2: Přehled hlavních rozdílů mezi prokaryotickou a eukaryotickou buňkou [15]

Prokaryotická buňka	Eukaryotická buňka
1 – 10 µm	5 – 100 µm
1000 – 4000 genů	10 000 – 30 000 genů
nemá regulérní buněčné jádro	má regulérní buněčné jádro
minimum organel, jednoduchá stavba	organely vnitřně strukturované
organely nejsou ohraničeny biomembránami	organely jsou od cytoplazmy ohraničené biomembránou
nemitotické dělení chromozómů	mitotické dělení chromozómů
buněčná stěna z peptidoglykanů	buněčná stěna z polysacharidů
bez cytoskeletu	cytoskelet
nikdy netvoří mnohobuněčné organismy (nanejvýš kolonie)	tvoří i mnohobuněčné organismy

4.1 Kvasinky

Kvasinka je jednobuněčným houbovým mikroorganismem, pro který je charakteristický zejména způsob dělení, tzv. pučení. Pučení je způsob nepohlavního rozmnožování, dceřiné buňky zůstávají často pohromadě a tvoří jakési řetízky, které se označují jako pseudomycelium neboli nepravé podhoubí. [11]

Kvasinky se řadí do kmene Ascomycota. Vykazují velkou tvarovou, velikostní a barevnou diverzitu. Nejčastěji jsou však kulaté nebo oválné. Kvasinky k životu potřebují kyslík, jsou tedy aerobní a vyživují se heterotroficky, pro výživu potřebují organické látky, které získávají enzymatickým štěpením. Stavba buňky kvasinky se skládá z buněčné stěny, cytoplazmatické membrány, cytoplazmy, která obsahuje ještě další struktury neboli organely, a z jádra.

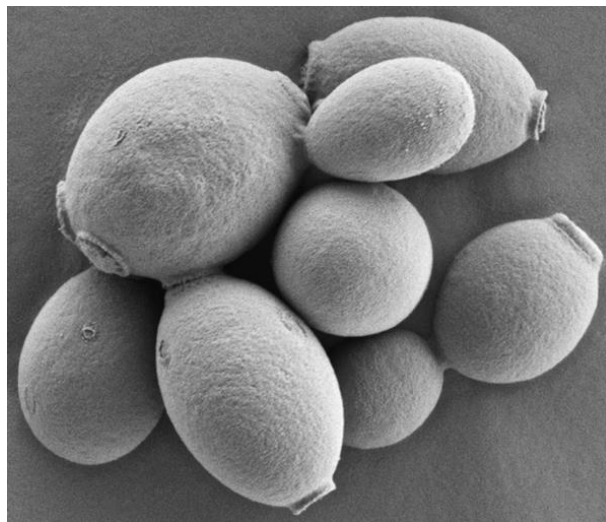
Ze zdravotnického hlediska stojí za zmínku kvasinky rodu *Candida*, které mohou být původcem onemocnění (kandidóza) kůže a sliznic u člověka. [11]

4.1.1 *Saccharomyces cerevisiae*

Saccharomyces cerevisiae nazývaná též kvasinka pивní je již od historických dob možná nejdůležitější kvasinkou. Kvasinka pивní zapřičiňuje nejběžnější typ fermentace, dokáže enzymaticky rozkládat glukosu na ethanol a CO₂ (anaerobní glykolýza) a tak získat potřebnou energii. Používá se proto ke zkvašování sladiny

na pivo, ke kynutí těsta (lisuje se s příměsí mouky jako droždí) a k výrobě lihu. Obsahují velké množství enzymů, bílkovin a vitamínů skupiny B.

Patří k nejstudovanějším eukaryotickým modelovým organismům, podobně jako je *E. coli* modelem prokaryotickým. *S. cerevisiae* jsou obecně elipsoidní, dosahují délky 5 – 10 μm a tloušťky 1 – 7 μm . Velikost buňky se zvětšuje se stářím. [16] Následující fotografie zobrazuje, jak vypadá kvasinka *Saccharomyces cerevisiae* pod elektronovým mikroskopem.



Obrázek 6: *Saccharomyces cerevisiae* pod elektronovým mikroskopem [17]

5 Vliv (elektro)magnetického pole na mikroorganismy

Tato kapitola je věnována doposud známým účinkům magnetického a elektromagnetického pole na mikroorganismy. V posledních letech se jedná o velmi diskutované téma, jestli a případně jakým způsobem ovlivňuje elektromagnetické a magnetické pole živé organismy. V této rešerši se budeme věnovat článkům na toto téma.

Čeští vědci z Akademie věd a Masarykovy univerzity v roce 2002 pozorovali vliv nízkofrekvenčních magnetických polí na bakterii *Escherichia coli* kultivované na živném agaru. Experiment probíhal při laboratorní teplotě (20 – 25 °C) a byl založen na krátkodobém působení magnetického pole, kratším než 12 minut. Byla použita pole o indukci 2,7 – 10 mT a frekvenci 50 Hz. Cílem této studie bylo zjistit, zda inhibiční účinky magnetického pole jsou bakteriostatické, nebo baktericidní. Jednou z metod měření bylo počítání KTJ (kolonií tvořících jednotek). Bakterie byly vystaveny magnetickému poli a měnila se doba expozice. Vědci zjistili, že počet KTJ klesá s dobou expozice exponenciálně. Ukázalo se, že pokles počtu KTJ je způsoben smrtí části bakterií v kultuře. Bakterie v magnetickém poli neztratily schopnost se dělit a také toto pole nemělo vliv na jejich metabolismus. Vliv magnetického pole tedy pravděpodobně není bakteriostatický. [18]

Další experiment českých vědců z Akademie věd a Masarykovy univerzity tentokrát z roku 2004 se týkal působení pole o indukci 10 mT a frekvenci 50 Hz, které bylo aplikováno na bakterie *Escherichia coli*, *Leclercia adecarboxylata* a *Staphylococcus aureus*. Bakterie byly vystaveny magnetickému poli po dobu kratší než 30 minut. Během tohoto výzkumu byla pozorována tvorba kolonií, přičemž se ukázalo, že magnetické pole má vliv ihned po jeho aplikaci. Bylo zjištěno, že největší vliv na životaschopnost buněk vykazuje magnetické pole u bakterie *E. coli*, jejíž relativní počet KTJ byl po 12 minutách v magnetickém poli o indukci 10 mT nižší přibližně o 40 %. Nejmenší vliv mělo magnetické pole při tomto pokusu na bakterii *Staphylococcus aureus*, jejíž relativní počet KTJ se snížil jen o 20 %. Bylo zjištěno, že magnetické pole snižuje počet bakterií schopných tvořit kolonie, nebylo ovšem prokázáno, že by magnetické pole bakterie přímo zabíjelo. [19]

Další experiment, provedený v roce 2009, zkoumal účinky slabého magnetického pole o indukci 10 mT a frekvenci 50 Hz. Tentokrát byly pozorovány

účinky tohoto pole na bakterie *Paracoccus denitrificans* a *Escherichia coli*. Tyto dvě bakterie byly vybrány z důvodu jejich tvaru. *E. coli* je tvaru tyčinky, zatímco *Paracoccus denitrificans* má tvar kulovitý. Jelikož již bylo známo, že magnetické pole o této indukci způsobuje pokles životaschopnosti bakteriálních buněk, pokusili se v tomto případě vypořádat účinky pole na morfologii buněk. Magnetické pole bylo aplikováno po dobu 60 minut. Během tohoto experimentu nebyly pozorovány žádné změny tvaru ani povrchu bakterií. Nicméně bylo zjištěno, že počet KTJ byl u *E. coli* po 12 minutách o 40 % nižší než u kontrolního vzorku, zatímco u *Paracoccus denitrificans* byl tento pokles oproti kontrole jen necelých 20 %. [20]

Čeští vědci zkoumali také vliv nízkofrekvenčního magnetického pole o indukci 10 mT a frekvenci 50 Hz na kvasinku *Saccharomyces cerevisiae*. Experimenty byly uskutečněny při laboratorní teplotě (24 – 26 °C). Pole bylo aplikováno po různé dlouhou dobu, maximálně však 24 minut. Byla měřena růstová křivka kvasinek v tekutém médiu a rovněž byly počítány KTJ na pevné půdě. U všech provedených experimentů došlo vlivem magnetického pole k inhibici růstu. Počet KTJ byl po 6 minutách o 16 % nižší než u kontrolního vzorku, po expozici dlouhé 24 minut byl nižší o 17 %. V porovnání s vlivem tohoto pole na bakterie *Escherichia coli*, *Leclercia adecarboxylata* a *Staphylococcus aureus* je však účinek na kvasinky minimální. Podle autorů článku je rozdíl v účinku na bakterie a kvasinky pravděpodobně způsoben jejich odlišným tvarem, může to však být i rozdílným typem buňky (prokaryotická a eukaryotická). [21]

V článku z roku 2004 je dokonce uvedeno, že stacionární magnetické pole a harmonické pole o frekvenci 50 Hz kvasinku *Saccharomyces cerevisiae* nijak neovlivňuje. Experimenty byly prováděny pro statické i harmonické pole při indukci 0,35 a 2,45 mT a trvaly 24 a 72 hodin. U vzorků byla měřena optická hustota při 600 nm. V této studii nebyly zjištěny žádné změny v růstu kvasinky. Při aplikaci magnetického pole o indukci 0,35 mT nebyly zjištěny žádné účinky, počet buněk na mililitr byl ve všech opakováních téměř totožný s kontrolou. U pole o indukci 2,45 mT je patrný mírný nárůst po 24 hodinách o přibližně 15 % jak u statického tak u harmonického pole, po 72 hodinách je však vzorek opět srovnatelný s kontrolním vzorkem. [22]

Němečtí vědci se rovněž zabývali účinky nízkofrekvenčního elektromagnetického pole na různé druhy bakterií. Bakterie *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*,

Photobacterium phosphoreum a *Photobacterium fisheri* byly vystaveny po různé dlouhou dobu účinkům elektromagnetického pole o velikosti 1 – 10 mT a frekvenci od 2 do 50 Hz. V tomto experimentu však nebyly pozorovány žádné významné změny. Pozorované účinky byly tak malé, že byly většinou zahrnuty do biologického rozptylu. Růst byl inhibován maximálně o 3,8 %. Jejich výsledky proto podporují teorii, že bakterie jsou vůči takto nízkému poli značně odolné. [23]

Článek z roku 2012 popisuje vliv stacionárního magnetického pole na bakterie *Escherichia coli* a *Pseudomonas putida*. Tento výzkum probíhal v návaznosti na informace, které tvrdily, že statické magnetické pole zvyšuje účinnost čištění odpadních vod. Bakterie byly vystaveny magnetickému poli o intenzitě 17 mT po dobu 20 hodin a byl sledován jejich růst. Bylo zjištěno, že u obou druhů bakterií došlo k inhibici růstu. U *E. coli* došlo k inhibici růstu po 5 hodinách o více než 200 % oproti kontrole a po 20 hodinách byl rozdíl mezi exponovaným vzorkem a kontrolním vzorkem přibližně 350 %. Zároveň tento experiment ukazuje, že největší vliv má pole při jejich optimální teplotě růstu, což je v případě *E. coli* 37 °C. Bakterie však byly pozorovány i nadále, po odstranění magnetického pole. Z výsledků je patrné, že účinky pole jsou pouze krátkodobé a bakteriím se brzy po vyjmutí z magnetického pole navrácí jejich schopnost růstu a jejich růstová křivka se přibližně během hodiny vyrovná růstové křivce kontrolního vzorku. [24]

Podobná studie z roku 2000 zkoumala vliv magnetického pole na bakterie *Streptococcus mutans*, *Staphylococcus aureus* a *Escherichia coli*. Zdrojem statického pole byly feritové magnety o silách 30, 60, 80 a 100 mT. Výsledkem tohoto experimentu byla inhibice růstu u bakterií *Streptococcus mutans* a *Staphylococcus aureus*. Bakterie byly kultivovány v anaerobním prostředí. Počet životaschopných buněk se snižoval s rostoucí silou pole. U bakterie *E. coli*, která byla pěstována v aerobních podmínkách, nebyly pozorovány žádné změny. Pro porovnání výsledků byl pozorován také účinek na *S. mutans* v aerobním prostředí. Ani zde nebyla pozorována žádná změna růstu. Z výsledků lze usoudit, že účinky magnetického pole se mohou lišit v závislosti na přítomnosti kyslíku. [25]

Článek z roku 2005 se zabývá působením jak slabých magnetických polí (menší než 1 mT), magnetických polí střední intenzity (1 mT až 1 T), tak i silných magnetických polí (větší než 1 T). O slabém magnetickém poli se v článku uvádí, že má na bakterii *E. coli* podobné účinky, jako kombinované působení stejnosměrného

a střídavého elektrického proudu. Dochází ke změně v chromatinu buňky, změně viskozity a ke změně některých biochemických reakcí v roztoku. Naopak se zde uvádí, že účinky silného pole nejsou prokazatelné. Nejvíce se tento článek věnuje účinkům pole střední intenzity. Autor tvrdí, že střední intenzity stacionárního magnetického pole ovlivňují především procesy na buněčné membráně. Mohou to být jak změny funkční, tak i změny ve struktuře buňky a mohou být vratné i trvalé. Působení magnetického pole může vést například i ke změně tvaru buňky, uspořádání cytoskeletu nebo ke změně iontového transportu. [26]

Martina Bohatá z Technické univerzity v Liberci se ve své bakalářské práci zabývala účinky stacionárního magnetického pole. Aplikovala ho na mikrobiální biofilm bakterie rodu *Escherichia coli* a na mikrobiální biofilm bakterie rodu *Micrococcus luteus*. Bakterie byly magnetickému poli o intenzitě 195 – 240 mT vystaveny po dobu 3 týdnů a celý experiment probíhal při teplotě 22 °C. Výsledky byly poněkud překvapivé, jelikož v tomto případě došlo naopak k podpoření růstu u obou výše zmíněných bakterií. Metodou měření bylo v první řadě počítání KTJ. Tento experiment ukázal, že magnetické pole má na bakterii *E. coli* rozdílný vliv v počátečních a pozdějších fázích vývoje. Nárůst biofilmu byl v prvních dvou týdnech i více než o 100 % vyšší v kontrolním vzorku než u magnetu. To poukazuje na fakt, že v počátečních fázích má magnetické pole na tuto bakterii negativní vliv. Nicméně po třech týdnech došlo v kontrolním vzorku k prudkému poklesu, zatímco ve vzorku z magnetu, kde byl původně menší nárůst biofilmu, došlo k vysokému růstu. Rozdíl v počtu KTJ u kontroly a vzorku z magnetu činil až 200 %. Magnetické pole má tedy v tomto případě pozitivní účinky na růst biofilmu, ale až ve třetím týdnu kultivace. [27]

Podle studie, která se zabývala účinky slabých elektromagnetických polí na úrovni buněčné biologie, je působení slabého elektrického pole na buňky zcela prokazatelné. Je důležité měřit frekvenci, amplitudu a dobu působení tohoto pole, aby mohly být tyto hodnoty zohledněny při hodnocení účinků. Na druhou stranu bylo také zjištěno, že výsledky v různých laboratořích se mohou lišit, obzvláště pokud bylo použito pole slabší než 0,05 mT. Pravděpodobně z důvodu rozdílných postupů, interference vlnění při použití příliš slabého pole, nebo kvůli příliš malému rozsahu měření. Podle autora studie je potřeba použít pole silné minimálně 12 mT, s minimální frekvencí 100 Hz a tímto polem pak působit nejméně dvě hodiny, aby byly výsledky hodnotitelné. [28]

Účinky (elektro)magnetického pole na živé organismy stále nejsou dostatečně prozkoumány. Nebylo dokázáno, že by (elektro)magnetické pole mikroorganismy zabíjelo. Nicméně lze říci, že ve většině případů jsou pozorovány negativní účinky na životaschopnost a růst bakterií a kvasinek. Je tedy pravděpodobné, že magnetické pole bude působit inhibičně i v našem experimentu.

PRAKTICKÁ ČÁST

6 Použité materiály a metody

6.1 Kultivační média

Agar je polysacharid mořské řasy. Je stabilní i při vysokých teplotách a jeho pH je $7,2 \pm 0,2$. Zkapalňuje nad $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tuhne při $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Námi použitý živný agar je konkrétně *Plate count Agar, Bio-Rad*.

Sója neboli sójový bujon je tekuté kultivační médium o pH $7,3 \pm 0,2$. Obsahuje živiny a růstové faktory potřebné pro růst a množení mikroorganismů a je vhodný i pro kontrolu sterility. Sójový bujon *Soyabean Casein Digest Medium, Himedia* obsahuje enzymatický hydrolyzát kaseinu, sójový pepton, chlorid sodný, hydrogenfosforečnan (di)draselný a glukózu. Hotový bujón se skladuje v lednici v nádobě uzavřené hliníkovou fólií. [29]

6.2 Množení bakterií a kvasinek

Množení bakterií a kvasinek v laboratorních podmínkách se nazývá kultivace. Termín přeočkování neboli inokulace používáme ve smyslu přenesení části čisté kultury na novou kultivační půdu.

Escherichia coli i *Saccharomyces cerevisiae* jsou v našem experimentu očkovány z Petriho misek s živným agarem do tekuté živné půdy. Odběr provedeme pomocí plamenem opálené mikrobiologické kličky, kterou opatrně setřeme dostatečné množství narostlých kultur. Kličku vložíme do baňky s tekutou živnou půdou a zachycené kultury opatrně rozetřeme při hladině a zamícháme. Tento postup opakujeme několikrát, aby byla koncentrace bakterií (v případě *Escherichie coli*), a kvasinek (v případě *Saccharomyces cerevisiae*) dostatečná. V našem případě používáme pro tyto účely sójový bujón. Tyto roztoky jsou pak již přímo určeny pro náš experiment s magnetickým polem.

Na celkem 18 vzorků v jednom experimentu jsem použila 100 ml sójového bujónu. Toto množství si rozdělíme po 50 ml do dvou sterilních Erlenmeyerových baněk. Z Petriho misek setřeme dostatečné množství bakterií/kvasinek pomocí sterilní

mikrobiologické kličky a zamícháme *E.coli* v jedné baňce a *Saccharomyces cerevisiae* ve druhé. Baňky přikryjeme hliníkovou fólií, která zamezí kontaminaci jinými mikroorganismy a přeneseme obě baňky do termoboxu, kde je necháme 3 dny při teplotě 22 °C, což je přibližně laboratorní teplota. Po 3 dnech vyjmeme baňky z termoboxu a do každé baňky přidáme asi 65 ml čistého sójového bujónu na oživení a pečlivě promícháme. Nutné je změřit absorbanci obou roztoků (vzhledem k čistému sójovému médiu) a odebrat vzorky na měření počáteční fluorescence a CHSK. Po odebrání všech potřebných vzorků na měření si připravíme celkem 18 zkumavek s víčkem. 9 zkumavek naplníme po 8 ml médiem z kádinky s *E.coli* a zbylých 9 zkumavek naplníme též po 8 ml médiem z kádinky se *Saccharomyces cerevisiae*. Naplněné zkumavky si popíšeme a rozmístíme je tak, že jsou vždy 3 zkumavky vloženy do přípravku generujícího točivé magnetické pole, 3 jsou umístěny do stacionárního magnetického pole a 3 zkumavky jsou ponechány v dostatečné vzdálenosti od obou polí jako referenční (kontrolní) vzorky. Pro oba druhy mikroorganismů byl při experimentu použit tentýž postup. Abychom mohli pokud možno vyloučit ostatní vlivy, které by mohly rozdíly v růstu ovlivnit, jsou všechny vzorky umístěny ve stejné místnosti, je sledována teplota prostředí a je dbán důraz i na podobné podmínky co se týče osvětlení. Na začátku experimentu změříme absorbanci, změříme CHSK vzorků, fluorescenci a respiraci. Tato měření zopakujeme také na konci experimentu po 3 dnech kultivace v daných prostředích (kontrola, stacionární magnetické pole, točivé magnetické pole).

6.3 Absorbance

Absorbance, někdy také označovaná jako optická hustota, je velmi často používanou metodou ve fotometrii a spektrofotometrii. Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která udává, kolik světla bylo pohlceno měřeným vzorkem. Lze ji definovat pomocí transmitance jako:

$$A = - \log T$$

kde transmitance udává množství světla určité vlnové délky, které prošlo vzorkem. Transmitanci můžeme též vyjádřit vzorcem:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

kde I je intenzita světla, které prošlo vzorkem a I_0 je intenzita světla, které do vzorku

vstoupilo. [30]

Pro měření absorpance v našem experimentu jsme použili spektrofotometr *DR 6000, HACH LANGE* s nastavenou vlnovou délkou na 600 nm, vzorky o objemu 3,5 ml byly dávkovány do hranaté kyvety.

6.4 CHSK test

Test chemické spotřeby kyslíku měří množství kyslíku, které je spotřebováno v průběhu oxidace vzorku. Udává množství přítomných oxidovatelných látek. Vyjadřuje se v miligramech kyslíku spotřebovaného na litr roztoku. [31]

Pro náš experiment byly použity kyvetové testy *LCK 614, HACH LANGE* s měřicím rozsahem 50 – 300 mg/l O₂. Kyvety obsahují již připravené reagentie. Oxidovatelné látky ve zkoumaném roztoku reagují s roztokem kyseliny sírové a dichromanu draselného v přítomnosti katalyzátoru síranu stříbrného. Chlorid je maskován síranem rtuťnatým. Vyhodnocuje se snížení žlutého zbarvení následkem oxidace. [32]

Vzorky byly do kyvety dávkovány dle návodu a dále byla kyveta vložena do blokového ohřívače *block heater SBH200DC, Stuart* nastaveného na 148 °C a při této teplotě zahříváme 2 hodiny. Po 2 hodinách vyjmeme z ohřívače a opatrně znovu protřepeme, necháme zchladnout na pokojovou teplotu a vložíme do spektrofotometru *DR 6000, HACH LANGE*, který je s tímto typem kyvet kompatibilní a automaticky rozpozná čárový kód kyvety. V případě testu *LCK 614, HACH LANGE* je měření uskutečněno při vlnové délce 448 nm.

Z důvodu relativně vysokého obsahu sóji v našich vzorcích bylo nutné je podle potřeby 100× zředit, aby výsledky byly v rozsahu 50 – 300 mg/l O₂ a tudíž relevantní.

6.5 Fluorescenční barvení

Metoda fluorescenčního značení je jednou z moderních metod pro sledování a hodnocení počtu a životaschopnosti buněk. Tento test je založen na rozlišení celistvosti membrány buňky. Buňky s narušenou membránou, které jsou považovány za mrtvé nebo umírající se zbarví červeně, zatímco buňky s neporušenou membránou se zbarví zeleně. [31, 33]

Pro identifikaci jsme použili fluorescenční kit LIVE/DEAD BacLight™, který obsahuje propidium jodid, který se váže na DNA. Toto barvivo je potenciálně karcinogenní a mutagenní, proto je nutné pracovat s velkou opatrností a používat dvojité rukavice. Do 5 µl vzorku na mikroskopickém sklíčku opatrně přidáme 3 µl barviva, přiklopíme krycím sklíčkem a necháme v temnu při pokojové teplotě 15 minut. [31]

Vzorky byly hodnoceny pomocí fluorescenčního mikroskopu *ZEISS Axio Imager.M2* s kamerou *AxioCamICc1*, s fluorescenční lampou *Colibri.2*. Nastavení odpovídalo filtru 62 HE B/G/HR, tj. vlnovým délkám 365 nm, 470 nm a 590 nm. Bylo použito zvětšení objektivu 63×. Fotografie byly pořízeny pomocí programu *Axio Vision* na připojeném počítači. Z těchto fotografií byl poté zjištěn počet zeleně zbarvených buněk a červeně zbarvených buněk a následně vypočteno i procentuální zastoupení životaschopných buněk.

7 Návrh magnetického pole

7.1 Točivé magnetické pole

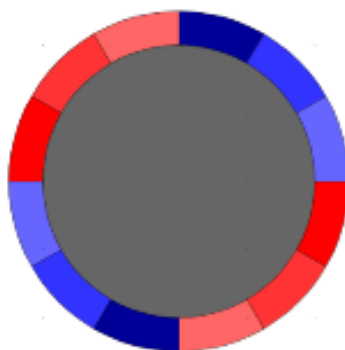
Přípravek sestavil Ing. Martin Truhlář, Ph.D, Ústav mechatroniky a technické informatiky, FM, TUL. V této bakalářské práci se budu zabývat účinky točivého magnetického pole o frekvenci 50, 250 a 500 Hz.

V současné době všudypřítomné rozvody třífázového střídavého napětí umožňují snadné vytvoření točivého magnetického pole. Pro svou jednoduchou konstrukci se zde budeme zabývat tvorbou točivého magnetického pole tvořeného soustavou cívek. Veliká výhoda spočívá v libovolném nastavení velikosti magnetické indukce v závislosti na budícím proudu. Pro vyšší frekvence existuje limitace impedancí cívek. [34]

Při použití třech vodičů umístěných v rovině do rovnostranného trojúhelníku, vznikne uprostřed mezi vodiči točivé magnetické pole, jehož konec vektoru vytváří kružnici. Toto pole je výsledkem superpozice fázově posunutých časově proměnných magnetických polí vzniklých od všech vodičů v obvodu. Této superpozici využijeme při návrhu přípravku s dvěma pólovými páry umístěnými symetricky vzhledem k ose potrubí, kde místo vodičů zde budou cívky. [34]

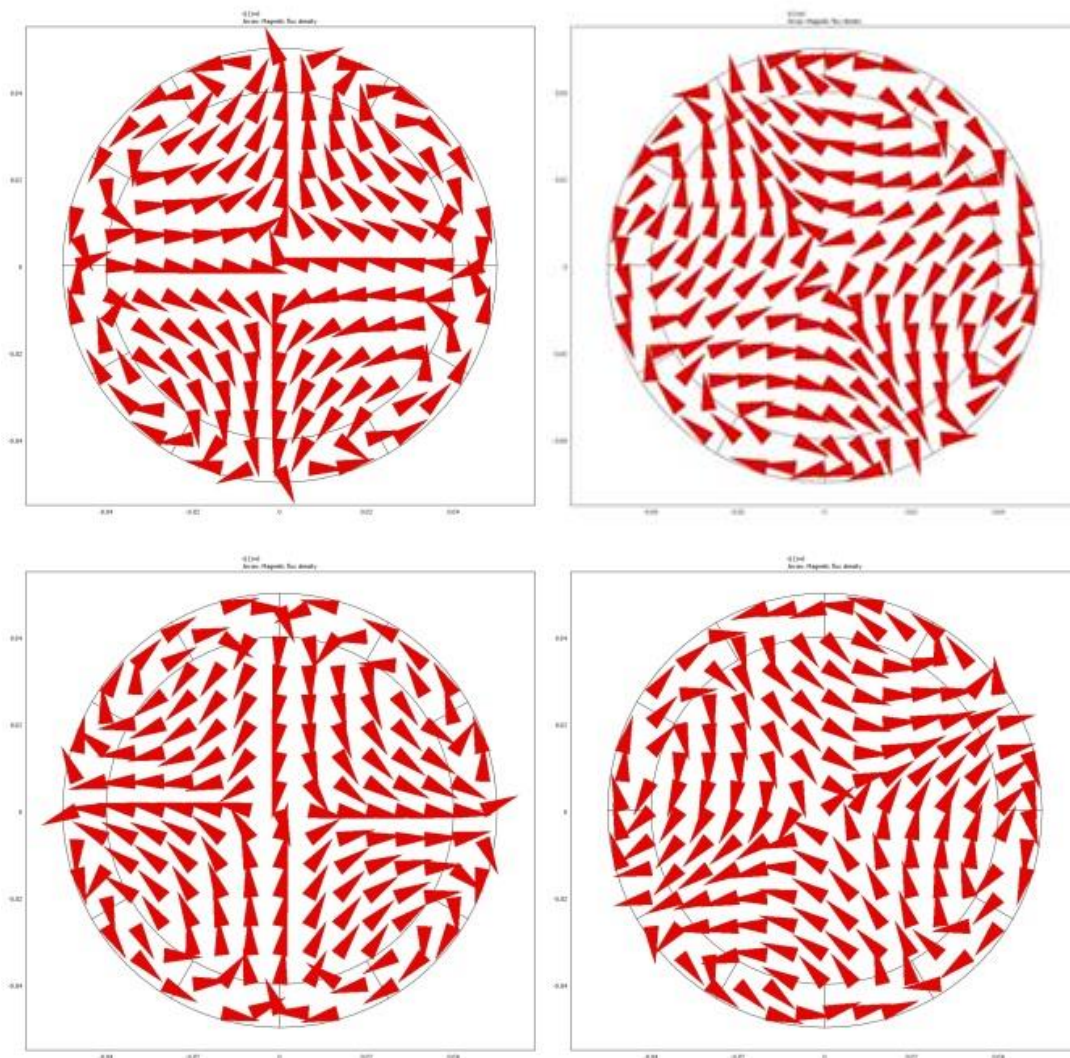
7.1.1 Návrh přípravku generujícího točivé magnetické pole

Na následujícím obrázku (Obrázek 7) je barevně vyobrazeno zapojení vinutí s kruhovou symetrií. Je to zvoleno tak, aby vektory magnetické indukce uvnitř reaktoru vytvářely kružnici. Sytost barev nám znázorňuje fázový posun proudu ve vinutí. Červená a modrá barva vyjadřuje polaritu proudu v cívce.



Obrázek 7: Zapojení vinutí s kruhovou symetrií [34]

Následující simulace (Obrázek 8) nám ukazuje rozložení vektorového pole magnetické indukce v přípravku ve čtyřech časových okamžicích. Rychlost otáčení vektorů magnetické indukce je dána frekvencí budícího proudu.

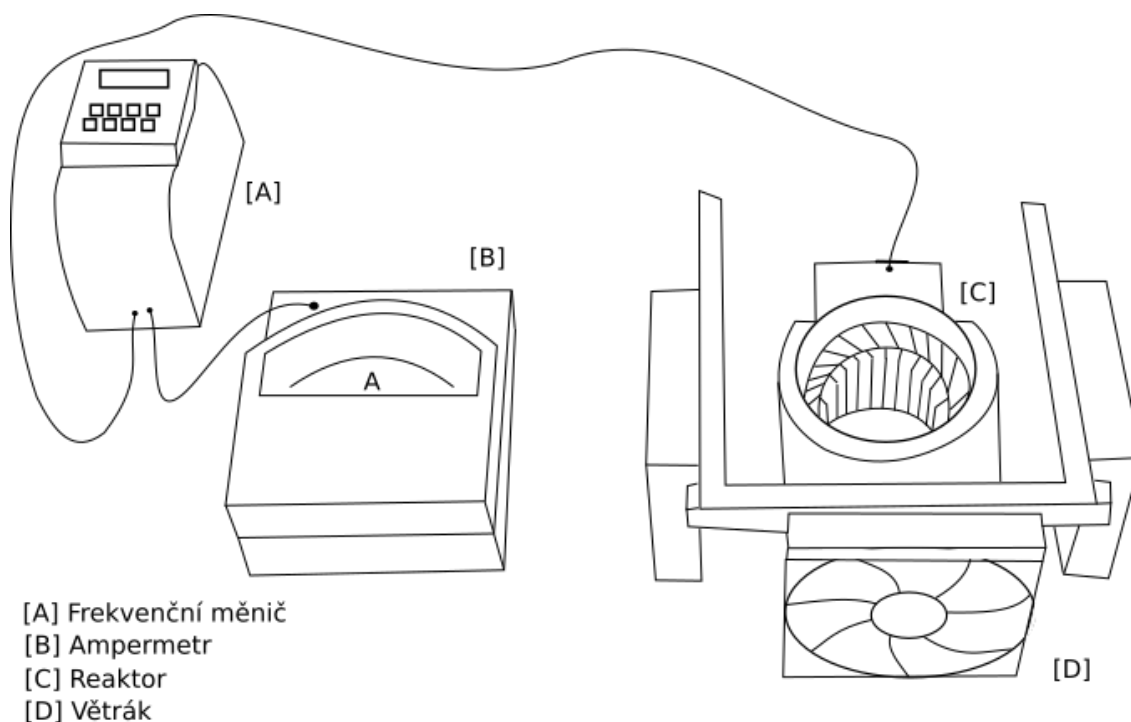


Obrázek 8: Rotace vektorů magnetické indukce v čase [34]

7.1.2 Realizace přípravku generujícího točivé magnetické pole

K realizaci reaktoru je použit asynchronní motor bez kotvy nakrátko, touto úpravou výrazně klesne indukčnost. Sníží se impedance, a tedy je nutné snížit napětí cívek. Reaktor je napájen frekvenčním měničem, pomocí kterého můžeme měnit libovolně frekvenci v rozsahu 10 – 650 Hz a napětí cívek. Pro kontrolu je v obvodu připojen ampérmetr, aby nebyly překročeny maximální limity proudu vinutí. Lepšího chlazení je docíleno pomocí externích větráků napájených DC zdrojem. Měření ukázalo, že magnetická indukce těsně u hrany pólového nástavce dosahuje 30 mT

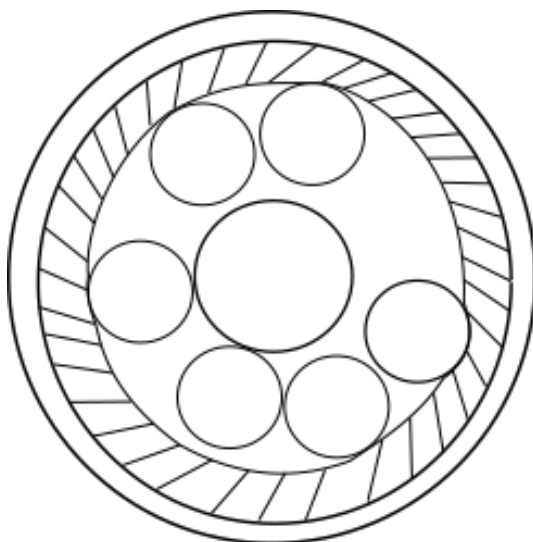
efektivní hodnoty při frekvenci 50, 250 i 500 Hz. Na Obrázku 9 je vyobrazeno celkové zapojení pracoviště. [34]



Obrázek 9: Celkové zapojení přípravku generujícího točivé magnetické pole

7.1.3 Aplikace vzorků a nastavení přípravku

Abychom docílili stejné magnetické indukce 30 mT u všech vzorků, je nutné rozmístit zkumavky po obvodu reaktoru. Z toho důvodu jsme do středu reaktoru vložili kádinku, která zajistila stabilitu zkumavek u hrany reaktoru. Jelikož reaktor zabraňuje přístupu světla ke zkumavkám, byly kontrolní vzorky a vzorky ve stacionárním poli po obvodu zastíněny hliníkovou fólií, abychom dosáhli stejného zastínění. Abychom docílili stejné teploty, byly všechny vzorky umístěny ve stejné místnosti a reaktor byl chlazen externími větráky. Teplota pro všechny vzorky byla po celou dobu experimentů 22 – 24 °C. Způsob rozmístění zkumavek v reaktoru je zobrazen na Obrázku 10.



Obrázek 10: Způsob rozmístění zkumavek v reaktoru (pohled shora)

Reaktor je napájen frekvenčním měničem, pomocí kterého lze měnit libovolně frekvenci v rozsahu 10 – 650 Hz. Pro rychlé uvedení do provozu nastavíme na frekvenčním měniči po zapojení do zásuvky mód *P00010* a nastavíme hodnotu „1“. Jako druhý krok musíme nastavit jmenovité napětí motoru. V módu *P0304* proto nastavíme požadované napětí. V našem případě je pro frekvenci 50 Hz jmenovité napětí 14 V a pro 250 a 500 Hz nastavíme jmenovité napětí 10 V. Jako další krok nastavíme minimální kmitočet v módu *P1080* (v našem případě tedy nastavíme 50, 250 a v posledním experimentu 500 Hz). Ukončení a uložení rychlého nastavení provedeme v módu *P3900* nastavením hodnoty „1“, pak již můžeme stisknout tlačítko start. Pro námi zvolené frekvence je protékající proud 0,4 A a efektivní hodnota magnetické indukce je 20 – 50 mT. [34]

V blízkosti přípravku dbáme zvýšené opatrnosti. V žádném případě se nedotýkáme živých částí frekvenčního měniče nebo reaktoru, je-li frekvenční měnič zapojen do elektrické sítě. Chceme-li do reaktoru umístit vzorky (nebo je naopak vyjmout), vypojíme frekvenční měnič z elektrické sítě a počkáme alespoň 5 minut, abychom měli jistotu, že zařízení již není pod napětím.

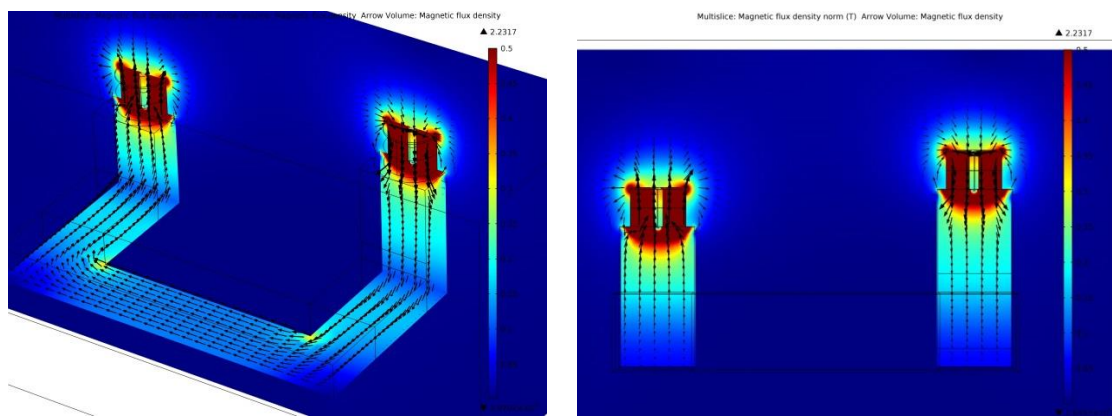
7.2 Stacionární magnetické pole

Pro náš experiment jsme zvolili magnetický obvod s neodymovými permanentními magnety. Tyto magnety poskytují nejsilnější pole (vysoké hodnoty magnetické indukce) mezi dosavadními magnety. Dnešní neodymové permanentní

magnety, které jsou běžně k dostání, dosahují magnetické indukce okolo 600 mT těsně na povrchu. Tato hodnota není po celém povrchu konstantní. Magnetická indukce výrazně klesá se vzdáleností od povrchu permanentního magnetu, což je pro zachování homogenního pole pro reálné experimenty velký problém. [34]

7.2.1 Návrh přípravku generujícího stacionární magnetické pole

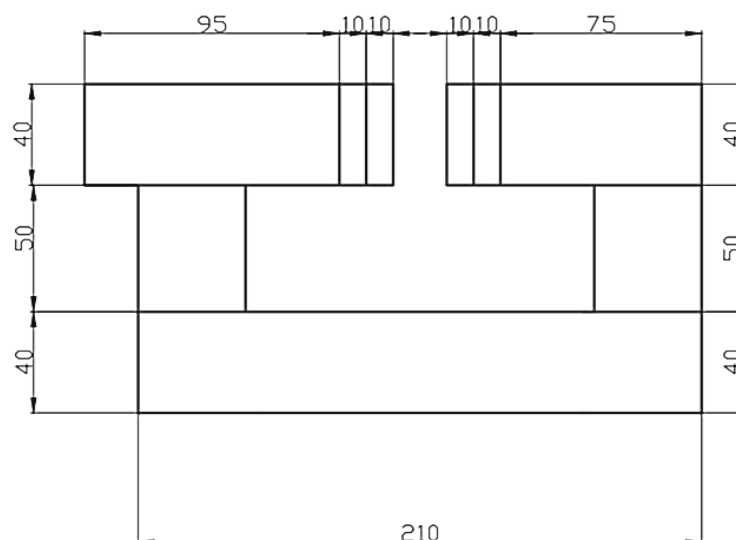
K návrhu magnetického obvodu byl použit simulační program *Comsol Multiphysics*. Na následujícím obrázku (Obrázek 11) je vyobrazen výsledek simulace rozložení magnetické indukce ve třech rovinách. Ukazuje se, že při takto volené koncepci dosahuje magnetická indukce na obou pólech magnetu přibližně 400 mT. Intenzita pole ovšem se vzdáleností od pólů exponenciálně klesá.



Obrázek 11: Počítačová simulace magnetického pole [34]

7.2.2 Realizace přípravku generujícího stacionární magnetické pole

Magnetické pole lze podstatně zesílit několika úpravami. V prvním případě je možné dát dva permanentní magnety souhlasně do jedné osy s jistou vzduchovou mezerou. Ve vzduchové mezeře je tím pádem pole zesíleno a je víceméně homogenní. Dalším způsobem zesílení pole je stažení siločar ze vzduchu do kovu s vysokou permeabilitou (například měkká ocel). Pokud přes ocelový prstenec spojíme soustavu permanentních magnetů, dostaneme pro danou aplikaci maximální indukci. Odhadem můžeme říci, že pomocí těchto úprav lze pole zesílit na hodnotu přibližně 0,4 T při vzduchové mezeře 2 cm. Tuto hodnotu je možné měnit posunem vzdáleností dvou magnetů od sebe. [34] Na následujícím obrázku je schéma ocelové podkovy se vzduchovou mezerou.

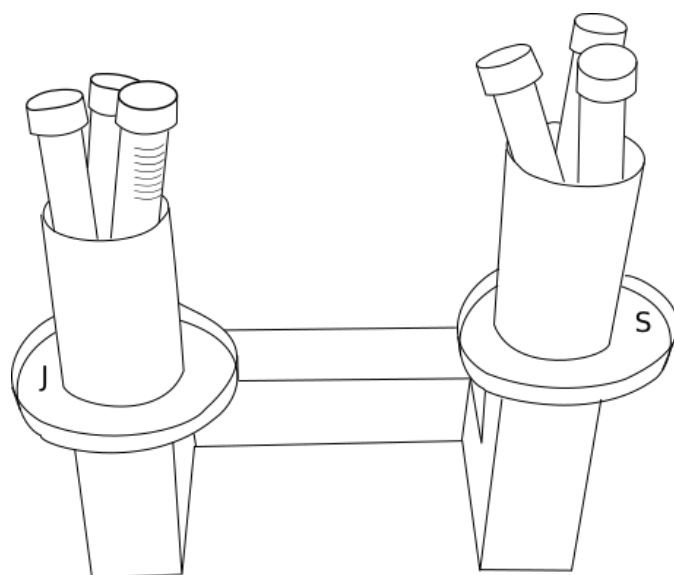


Obrázek 12: Schéma ocelové podkovy s rozměry [34]

Vlastní přípravek se skládá z ocelových hranolů, které jsou spojeny šrouby do tvaru podkovy, na koncích jsou umístěny neodymové magnety. V našem případě jsou neodymové magnety umístěny na ocelové podkově tak, že směřují oba póly jedním směrem (viz Obrázek 13 na další straně), jelikož naším cílem je dosáhnout magnetické indukce v místě vzorků přibližně 30 mT.

7.2.3 Aplikace vzorků a nastavení přípravku

K realizaci reaktoru je využito plastových zkumavek, které jsou po třech umístěny ve dvou kádinkách (viz Obrázek 13). Kádinky jsou vyloženy hliníkovou fólií, aby byl stejný přístup světla jako u vzorků v točivém poli a v kontrole. Zkumavky byly naplněny tekutým médiem (sójovým bujónem) s mikroorganismy o celkovém objemu 8 ml, hladina dosahovala výšky 6,5 cm a efektivní hodnota magnetické indukce byla v této výšce od povrchu magnetu přibližně 30 mT. Jelikož experimenty probíhaly na mikroorganismech kultivovaných v tekutém médiu (buňky se mohou libovolně pohybovat), není důležité studovat sever-jih pól magnetů.



Obrázek 13: Způsob použití permanentního magnetu

8 Použité mikroorganismy

Pro účely této bakalářské práce byly vybrány dva modelové mikroorganismy s rozdílnou stavbou buňky. Jako zástupce prokaryot byla zvolena bakterie *Escherichia coli*. Pro zkoumání vlivu magnetického pole na eukaryotickou buňku byla jako modelový organismus použita kvasinka *Saccharomyces cerevisiae* označována také jako kvasinka pивní. V této bakalářské práci se pokusíme srovnat vliv magnetického pole na bakterii *Escherichia coli* s vlivem tohoto pole na kvasinku *Saccharomyces cerevisiae*.

8.1 *Escherichia coli* v praxi

První organismus, na kterém byl prováděn výzkum, byla již zmíněná bakterie. *E. coli* byla uchovávána na Petriho miskách na živném médiu, agaru. Vždy 3 dny před začátkem experimentu jsme provedli přeočkování bakterie z Petriho misky s agarem do Erlenmeyerovy baňky se sójovým bujónem. Na baňku jsme poté umístili zátku z hliníkové fólie, aby byla zajištěna aseptická práce a do baňky se nevnesla kontaminace. Baňku jsme vložili na 3 dny do termoboxu předehřátého na 22 °C, kde se bakterie namnožily. Na začátku experimentu se pak bakteriím dodala výživa ve formě čistého sójového bujónu.

8.2 *Saccharomyces cerevisiae* v praxi

Druhým organismem byla kvasinka *Saccharomyces cerevisiae*. Všechny postupy byly totožně jako u *E. coli*. Pokusy na obou mikroorganismech probíhaly souběžně, abychom mohli vyloučit vliv okolních podmínek (teplota, světlo). Podrobné postupy při očkování, rozmisťování vzorků a měření jsou popsány v kapitole materiály a metody.

9 Vyhodnocení

Výzkumné práce probíhaly v laboratoři biotechnologií, Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace, Technické univerzity v Liberci.

9.1 Zpracování vzorků

Celkem byly provedeny 3 experimenty. Mikroorganismy naočkované v sójovém bujónu se nechali vždy 3 dny růst při 22 °C v termoboxu bez vlivu magnetického pole. Po 3 dnech (na začátku samotného experimentu) se změřila absorbance, CHSK vzorků a provedlo se fluorescenční barvení a následné mikroskopování. Z těchto měření jsme získali počáteční hodnoty. Následně byly vzorky nadávkovány po 8 ml do zkumavek, které byly umístěny vždy po 3 zkumavkách od každého mikroorganismu do reaktoru generujícího točivé magnetické pole, 3 na permanentní magnet a 3 zkumavky byly ponechány jako kontrolní vzorky mimo pole (tj. každé měření bylo provedeno v triplicátu).

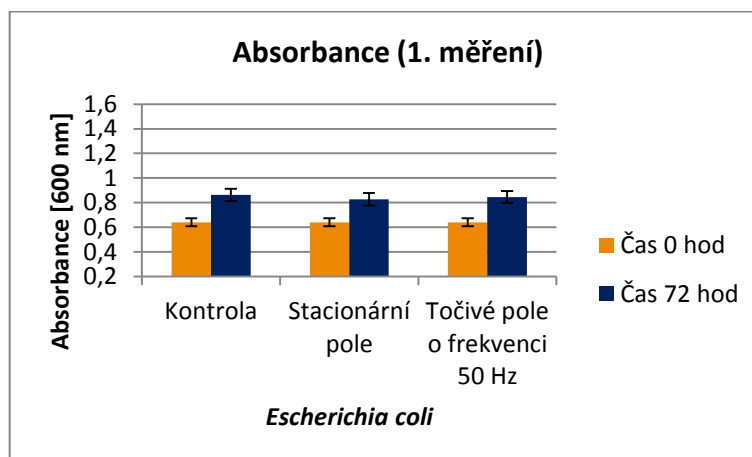
Po 72 hodinách (na konci experimentu) byly vzorky vyjmuty z magnetického pole a znovu byla změřena absorbance, CHSK a bylo provedeno fluorescenční barvení. Výsledky z triplicátů jednotlivých měření byly zprůměrovány a byly stanoveny směrodatné odchylky a chyby měření.

CHSK jsme v našem případě hodnotili u filtrovaných vzorků, kdy jsou mikroorganismy zachyceny na filtru a my pak testujeme čistý roztok. Díky tomuto testu zjistíme, o kolik procent ubylo živných látek (resp. celkového C-zdroje) v roztoku po 72 hodinách. Filtraci jsme provedli na aparatuře pro podtlakovou filtraci, která se připojí na vývěvu.

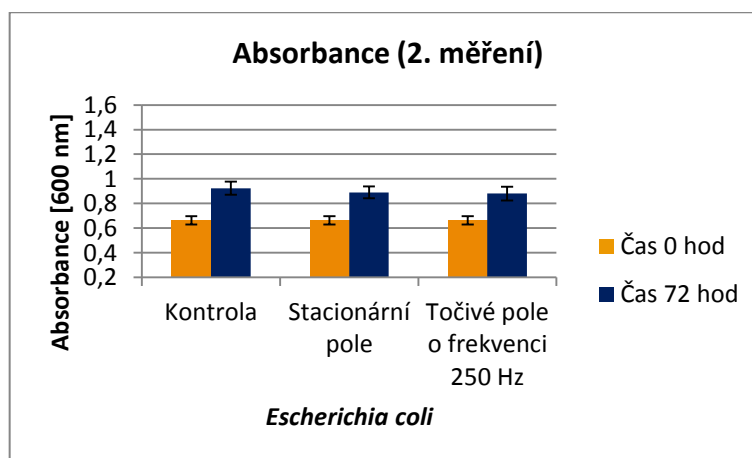
U fluorescence jsme vyhodnocovali jak viabilitu buněk tak jejich celkový počet v 1 ml. Nejprve jsme sečetli červeně a zeleně zbarvené buňky a následně jsme určili procentuální zastoupení zelených buněk (viabilitu). Abychom získali počet buněk v 1 ml, bylo potřeba námi spočítaný počet buněk v 5 μ l sledovaného vzorku přepočítat na $n / 1 \text{ ml}$.

9.2 Výsledky a diskuze

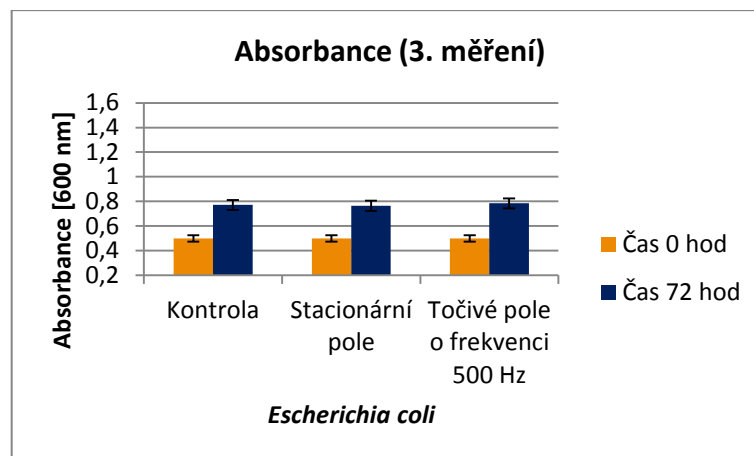
Naměřené výsledky byly zpracovány do grafů nejprve po jednotlivých experimentech, aby znázorňovaly rozdíl mezi kontrolou, stacionárním polem a točivým polem. Výsledky jsou uvedeny ve sloupcových grafech, kde chybové úsečky znázorňují chybu měření z jednotlivých triplikátů.



Graf 1: Absorbance, *E. coli*, 1. měření (30 mT, 50 Hz)



Graf 2: Absorbance, *E. coli*, 2. měření (30 mT, 250 Hz)



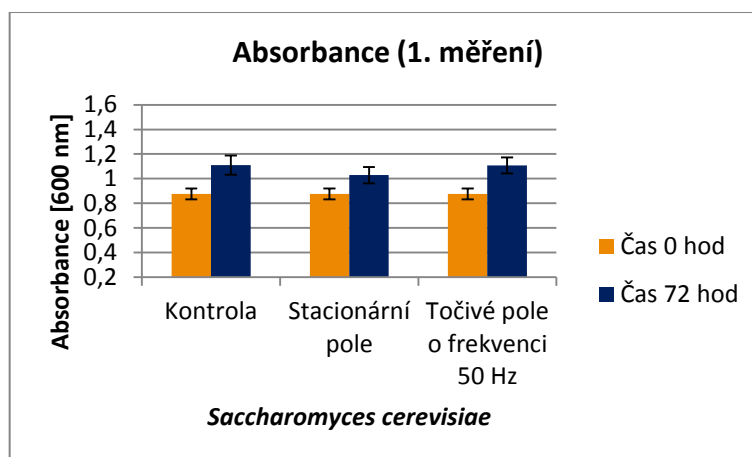
Graf 3: Absorbance, *E. coli*, 3. měření (30 mT, 500 Hz)

Z grafů (Graf 1, Graf 2, Graf 3) je patrné, že absorbance se u bakterie *E. coli* po 72 hodinách zvýšila u všech vzorků, bez ohledu na to, zda byly vystaveny magnetickému poli, či nikoliv. V prvním měření narostla hodnota absorbance oproti počáteční hodnotě (času 0 hodin) u kontrolního vzorku o 35 %, u vzorku ve stacionárním poli o 29 % a u vzorku v točivém poli (50 Hz) o 32 %. Ve druhém měření jsou obdobné výsledky – kontrolní vzorek narostl o 39 %, vzorky vystavené stacionárnímu poli o 34 % a vzorky v točivém poli (250 Hz) narostly oproti počátečnímu stavu o 33 %. Ve třetím měření se zákal kontrolního vzorku zvýšil o 54 % oproti počáteční hodnotě, u vzorku ve stacionárním poli o 53 % a v točivém poli (500 Hz) se zákal zvýšil o 57 %. Ve všech třech experimentech u vzorků ve stacionárním magnetickém poli narostla hodnota absorbance méně než u vzorků kontrolních. To by podporovalo hypotézu, že stacionární magnetické pole o dané intenzitě a v daném uskupení působí na bakterii *E. coli* inhibičně. Nicméně tento rozdíl je v našem případě natolik malý (maximálně 4,3 %), že nelze vyvozovat takové závěry (rozdíl byl v rámci chyby měření).

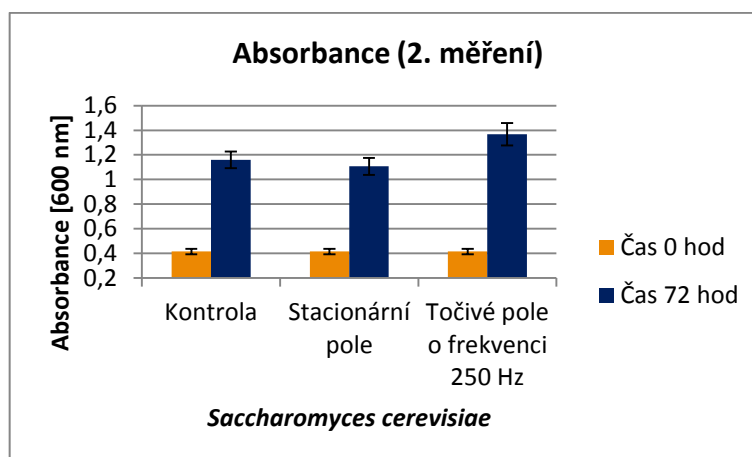
Toto měření tedy podporuje teorii německých vědců [23], podle kterých jsou bakterie vůči takto nízkému poli značně odolné, resp. dané magnetické pole nemá na studované bakterie vliv. Podobných výsledků dosáhla také studie [25] zkoumající vliv statického magnetického pole o indukci 30 – 100 mT na bakterii *E. coli* za aerobních podmínek, kdy taktéž nebyly pozorovány žádné změny v růstu. Jako možné vysvětlení rozdílných výsledků v mnoha studiích se nabízí fakt, že většina experimentů je uskutečňována za laboratorní teploty (22 – 26 °C), nicméně studie

z roku 2012 [24] přišla s objevem, že největší vliv má statické magnetické pole o indukci 17 mT při optimální teplotě růstu bakterií, což je v případě *E. coli* 37 °C.

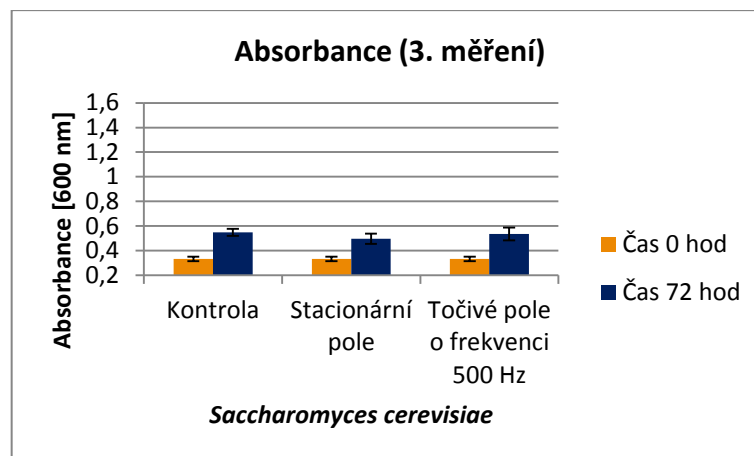
Hodnoty absorbance pro kvasinku *Saccharomyces cerevisiae* vidíme v Grafu 4, Grafu 5 a Grafu 6.



Graf 4: Absorbance, *S. cerevisiae*, 1. měření (30 mT, 50 Hz)



Graf 5: Absorbance, *S. cerevisiae*, 2. měření (30 mT, 250 Hz)

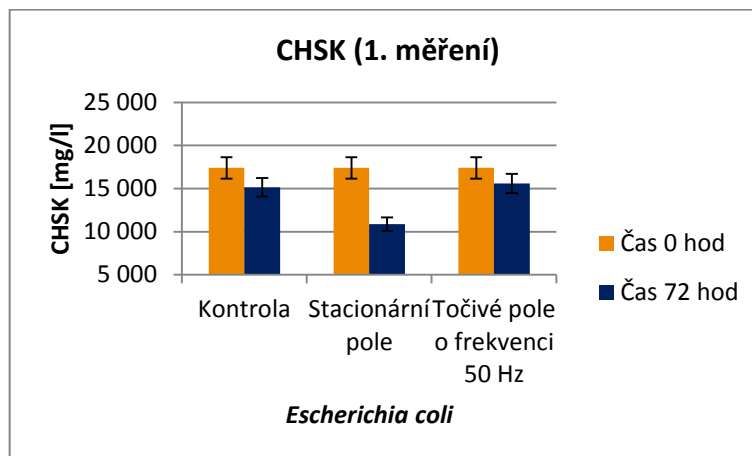


Graf 6: Absorbance, *S. cerevisiae*, 3. měření (30 mT, 500 Hz)

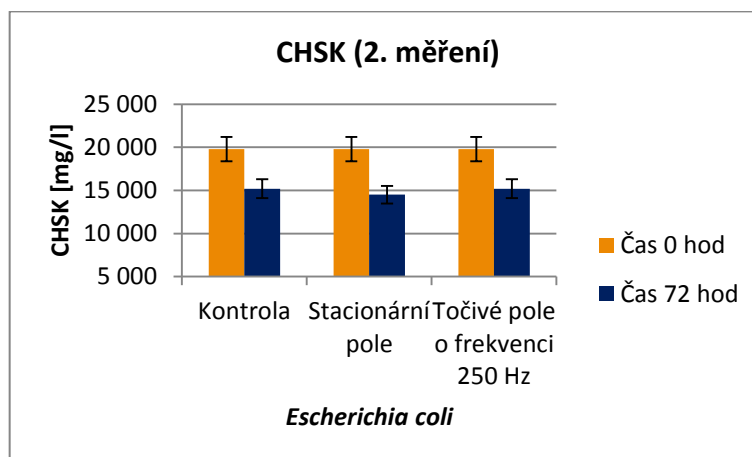
V případě kvasinky narostla absorbance rovněž u všech vzorků. V prvním měření (Graf 4) narostla absorbance oproti počáteční hodnotě u kontroly o 27 %, ve stacionárním poli o 17 % a v točivém poli (50 Hz) o 26 %. Druhé měření ukázalo nárůst zákalu u kontrolního vzorku o 180 %, u vzorku ve stacionárním poli o 167 % a u vzorku v točivém poli (250 Hz) o 230 %. Vzhledem k takto vysokým hodnotám absorbance v celém měření (Graf 5) je pravděpodobné, že zde došlo k jinému vlivu, naočkované kvasinky se patrně nacházely v jiné růstové fázi. Vzorek v točivém poli o frekvenci 250 Hz zde ale narostl o 17,8 % více než kontrolní vzorek. Je tedy pravděpodobné, že tato frekvence pozitivně ovlivňuje růst kvasinky *Saccharomyces cerevisiae*. V posledním měření (Graf 6) narostl kontrolní vzorek o 65 % oproti počáteční hodnotě, vzorek ve stacionárním poli o 49 % a vzorek v točivém poli (500 Hz) o 61 %. Vzorky ve stacionárním poli narostli průměrně o 7,5 % méně než vzorky kontrolní. Z těchto výsledků by se dalo usuzovat, že stacionární magnetické pole způsobuje u kvasinky rodu *Saccharomyces cerevisiae* zpomalení růstu, nicméně tyto rozdíly jsou natolik malé, že nelze vyloučit, že se jedná o chybu měření.

K obdobnému výsledku došli čeští vědci [21], kteří ovšem zkoumali vliv magnetického pole o indukci 10 mT a frekvenci 50 Hz. Výsledkem byl pokles počtu KTJ o 17 % po 24 minutách. Další studie [22] zkoumala vliv jak stacionárního tak harmonického pole o indukci 2,45 mT taktéž na kvasinku *Saccharomyces cerevisiae*, po 24 hodinách byl pozorován u obou polí nárůst absorbance asi o 15 % oproti kontrole, po 72 hodinách již však byly hodnoty opět srovnatelné s kontrolním vzorkem. Je zde tedy možná i souvislost s dobou expozice, magnetické pole může na buňky jinak působit ihned po jeho aplikaci a jinak po několika hodinách, dnech nebo týdnech.

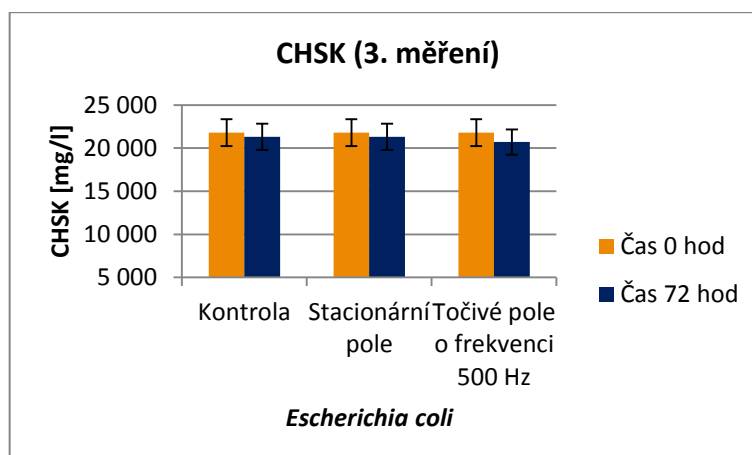
Následující grafy (Graf 7, Graf 8, Graf 9) zobrazují výsledky CHSK pro bakterii *Escherichia coli*.



Graf 7: CHSK, *E. coli*, 1. měření (30 mT, 50 Hz)



Graf 8: CHSK, *E. coli*, 2. měření (30 mT, 250 Hz)

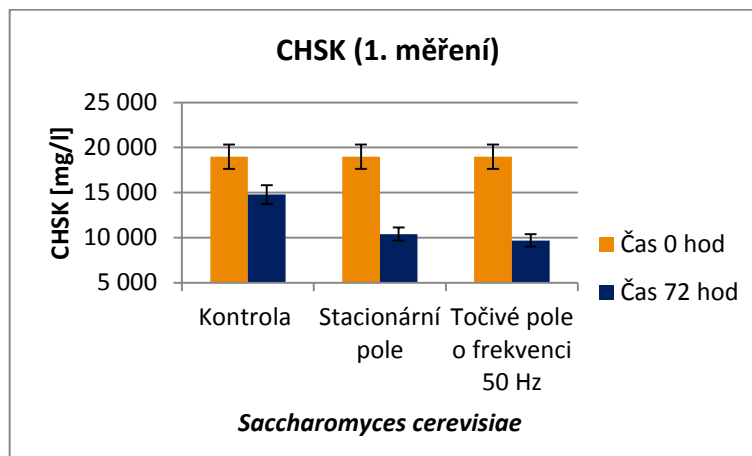


Graf 9: CHSK, *E. coli*, 3. měření (30 mT, 500 Hz)

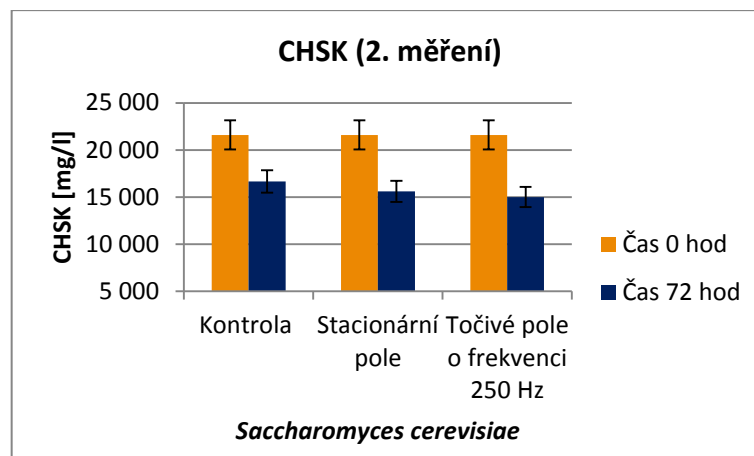
Jelikož se jedná o CHSK filtrovaných vzorků, tyto hodnoty vlastně ukazují úbytek živných látek v roztoku. V prvním experimentu ubylo v kontrole 13 %, ve stacionárním poli 37 % a v točivém poli (50 Hz) 10 % živných látek oproti počátečnímu stavu. Ve druhém měření byl tento pokles 23 % pro kontrolu, 27 % pro stacionární pole a 23 % pro točivé pole (250 Hz). Ve třetím měření ubyla v kontrolním vzorku a ve vzorku umístěném ve stacionárním poli pouze 2 % živných látek a u vzorku v točivém magnetickém poli (500 Hz) ubylo 5 % těchto látek. Tyto výsledky korespondují s výsledky absorbance pro *E. coli*, s rostoucí absorbancí rostla spotřeba živin.

Výsledky z prvního měření (Graf 7) ukazují zvýšenou spotřebu živin o 28 % u bakterií vystavených stacionárnímu magnetickému poli oproti bakteriím v kontrolním vzorku. Další měření (Graf 8, Graf 9) však tento trend nepotvrdila. Můžeme tedy říci, že stacionární magnetické pole nemá na spotřebu živin bakterie *E. coli* prokazatelný vliv.

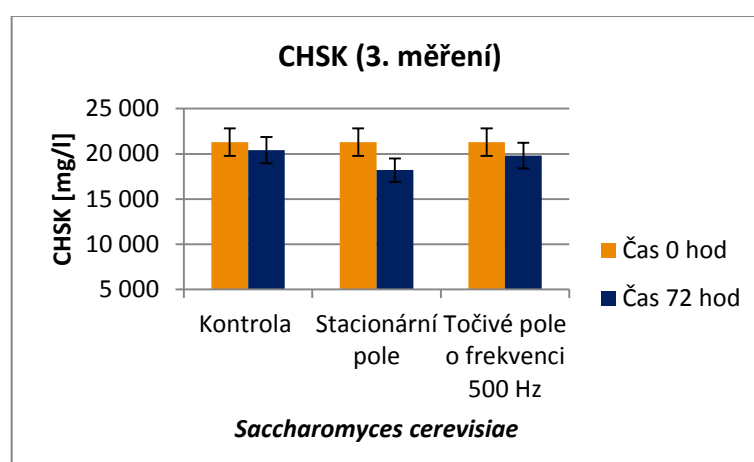
Následující grafy (Graf 10, Graf 11, Graf 12) ukazují výsledky CHSK pro kvasinku *Saccharomyces cerevisiae*.



Graf 10: CHSK, *S. cerevisiae*, 1. měření (30 mT, 50 Hz)



Graf 11: CHSK, *S. cerevisiae*, 2. měření (30 mT, 250 Hz)



Graf 12: CHSK, *S. cerevisiae*, 3. měření (30mT, 500 Hz)

V prvním měření (Graf 10) došlo po 72 hodinách k poklesu živných látek u kontroly o 22 %, u stacionárního pole o 45 % a u točivého pole (50 Hz) došlo k 49% poklesu. Druhé měření (Graf 11) ukázalo úbytek 23 % u kontrolního vzorku, 28 % u vzorku ve stacionárním poli a 31 % u vzorku v točivém poli (250 Hz). Ve třetím měření (Graf 12) byl pozorován 4% pokles živných látek u kontroly, 15% u vzorků ve stacionárním poli a 7% u vzorků v točivém poli (500 Hz). Z grafů CHSK pro *Saccharomyces cerevisiae* lze usoudit, že kvasinky vystavené magnetickému poli spotřebovaly více živných látek než kvasinky v kontrolním vzorku. Přičemž tento účinek je pozorován jak u pole stacionárního, tak u točivého magnetického pole. U vzorků ve stacionárním poli pozorujeme v prvním měření o 29,6 % větší pokles živných látek než v kontrolním vzorku, ve druhém měření je však tento pokles větší jen o 6,3 % a ve třetím měření o 10,8 % oproti kontrolnímu vzorku. Je tedy pravděpodobné, že stacionární pole má určitý vliv na spotřebu živných látek u kvasinek, z našich

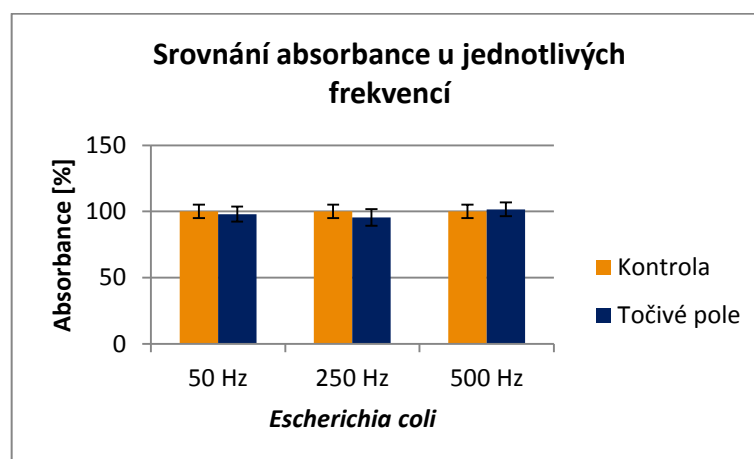
výsledků však není zcela jasné, jak velký tento vliv je. Vzhledem k tomu, že tyto výsledky nekorespondují s výsledky absorbance, pravděpodobně stacionární magnetické pole zvyšuje aktivitu buněk (urychluje metabolismus). U vzorku v točivém poli o frekvenci 50 Hz byl pozorován o 34,5 % větší pokles živných látek než v kontrolním vzorku, při frekvenci 250 Hz byl tento úbytek vyšší oproti kontrole o 10 % a při frekvenci 500 Hz pouze o 3 %. To znamená, že největší účinek na spotřebu živin má točivé magnetické pole o frekvenci 50 Hz, tento výsledek ovšem nekoresponduje s hodnotou absorbance, to znamená, že toto pole má vliv pouze na aktivitu buněk, nikoliv na jejich růst a množení. V případě točivého pole o frekvenci 250 Hz, kde byl pozorován pouze o 10 % větší úbytek živin než u kontroly, jde pravděpodobně o důsledek většího množství buněk, jelikož tato hodnota koresponduje s nárůstem absorbance. To znamená, že točivé magnetické pole o frekvenci 250 Hz má s největší pravděpodobností pozitivní vliv na růst a množení kvasinek rodu *Saccharomyces cerevisiae* (absorbance byla o 17,8 % vyšší než absorbance kontrolního vzorku).

Další částí experimentu bylo fluorescenční barvení. To bylo provedeno jak na začátku měření (v čase 0 hodin), tak i po 3 dnech experimentu (v čase 72 hodin). Výsledky z fluorescenčního barvení jsou uvedeny v příloze práce, ukázalo se, že v rámci tohoto měření byla velká pravděpodobnost odchylek způsobených neostrostí některých snímků a také agregací jednotlivých buněk k sobě navzájem, hodnocení počtu buněk tak bylo velice zkresleno. Jediným zjištěným účinkem byl pozitivní vliv točivého pole o frekvenci 50 Hz na viabilitu bakterie *E. coli*, oproti počátečnímu stavu vzrostla o 16 % a oproti kontrole dokonce o 41 %. Na základě výsledků z fluorescenčního barvení lze také konstatovat, že stacionární magnetické pole nemá vliv na viabilitu kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* (viz Příloha A). Ze snímků z fluorescenčního barvení jsme vypočítali celkový počet buněk (živých i mrtvých) v 1 ml roztoku. Z těchto výsledků vyplývá, že točivé pole o frekvenci 50 a 500 Hz má pozitivní vliv na množení bakterie *E. coli* (viz příloha B), při frekvenci 50 Hz došlo k nárůstu o 363 % oproti kontrolnímu vzorku a při frekvenci 500 Hz bylo pozorováno o 23 % více buněk než v kontrolním vzorku. V případě kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* se zdá, že by její množení mohly pozitivně ovlivňovat frekvence 50 a 250 Hz točivého pole (viz Příloha C), u točivého pole o frekvenci 50 Hz byl pozorován o 46 % vyšší počet buněk než v kontrolním vzorku, při frekvenci 250 Hz byl zaznamenán nárůst počtu

buněk o 45 % oproti kontrolnímu vzorku. Jak již ale bylo zmíněno výše, tyto výsledky je třeba brát s určitou rezervou, jelikož některé snímky nebyly dostatečně dobře hodnotitelné.

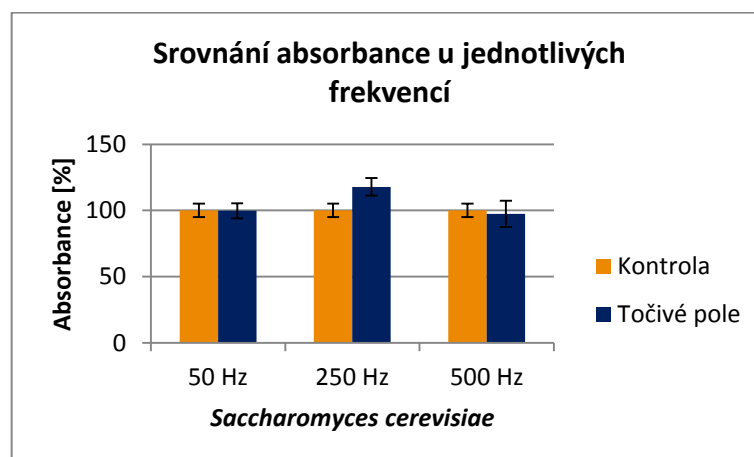
9.3 Srovnání frekvencí točivého magnetického pole

V následujících grafech jsou srovnány účinky všech frekvencí (50, 250 a 500 Hz) točivého magnetického pole.



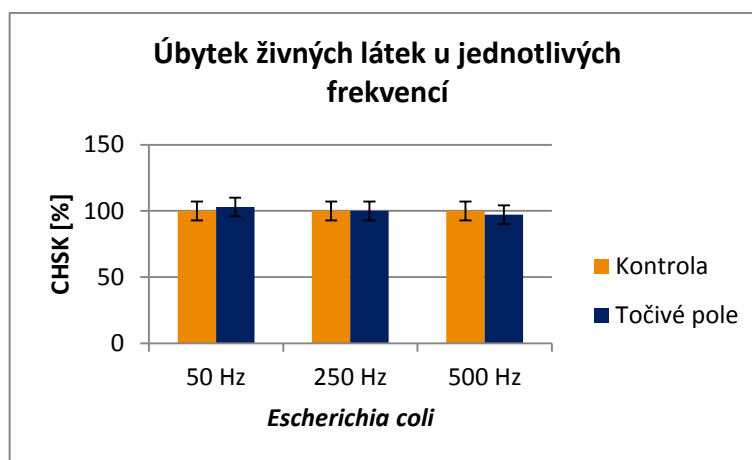
Graf 13: Srovnání absorbance u jednotlivých frekvencí, *E. coli*

Oproti kontrolním vzorkům byl zaznamenán menší nárůst absorbance u vzorku v točivém poli o frekvenci 50 Hz o 2,1 %, o frekvenci 250 Hz o 4,8 % a o frekvenci 500 Hz byl zaznamenán nárůst absorbance o 1,6 %. Z těchto výsledků je zřejmé, že vzorky *E. coli* v točivém poli mají srovnatelnou absorbanci se vzorky kontrolními (rozdíly spadají do chyby měření), nebyl zde tedy prokázán žádný účinek točivého pole.



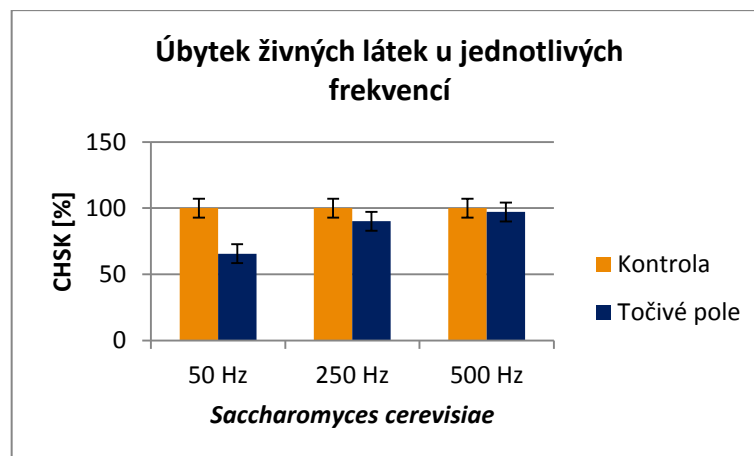
Graf 14: Srovnání absorbance u jednotlivých frekvencí, *S. cerevisiae*

V Grafu 14 vidíme srovnání absorpance vzorků v točivém poli o různé frekvenci s kontrolními vzorky. U vzorku z točivého pole o frekvenci 50 Hz byla naměřena identická hodnota jako u kontrolního vzorku. U vzorku v točivém poli o frekvenci 250 Hz jsme zaznamenali o 17,8 % vyšší hodnotu absorpance než v kontrolním vzorku. Točivé pole o této frekvenci tedy pravděpodobně pozitivně ovlivňuje růst kvasinek. U vzorku v točivém poli o frekvenci 500 Hz byl oproti kontrolnímu vzorku zaznamenán pokles absorpance o 2,6 %. Z těchto výsledků lze usuzovat, že jediná frekvence točivého pole, která má na kvasinky nějaký účinek je frekvence 250 Hz.



Graf 15: Srovnání CHSK u jednotlivých frekvencí, *E. coli*

Z Grafu 15 srovnávajícího CHSK vzorků *E. coli* vystavených točivému poli se vzorky kontrolními je patrné, že ve vzorku vystaveném poli o frekvenci 50 Hz došlo k menšímu poklesu živných látek o 2,9 % než v kontrolním vzorku. Ve vzorku, který byl vystaven točivému poli o frekvenci 250 Hz byla naměřena identická hodnota CHSK jako v kontrolním vzorku. Ve vzorku z točivého pole o frekvenci 500 Hz byl zaznamenán o 2,9 % větší pokles živných látek než v kontrole. Rozdíly mezi CHSK u vzorků v točivém poli a u vzorků v kontrole jsou natolik malé, že spadají do chyby měření. Nebyl tedy zjištěn žádný vliv točivého magnetického pole na spotřebu živných látek v roztoku s bakterií *E. coli*.



Graf 16: Srovnání CHSK u jednotlivých frekvencí, *S. cerevisiae*

Z Grafu 16 srovnávajícího CHSK vzorků *S. cerevisiae* vystavených točivému poli se vzorky kontrolními je patrné, že ve vzorku vystaveném poli o frekvenci 50 Hz došlo k většímu poklesu živných látek a to o 34,5 % než v kontrolním vzorku. Ve vzorku, který byl vystaven točivému poli o frekvenci 250 Hz byla naměřena hodnota CHSK o 10 % nižší (došlo k většímu poklesu) než v kontrolním vzorku. Ve vzorku z točivého pole o frekvenci 500 Hz byl zaznamenán o 3 % větší pokles živných látek než v kontrole. Rozdíly mezi CHSK u vzorků v točivém poli a u vzorků v kontrole se liší s frekvencí tohoto pole. Největší rozdíl mezi točivým polem a kontrolou byl při frekvenci 50 Hz, toto pole působí na metabolismus buněk, který urychluje a buňky spotřebují více živin. U frekvence 250 Hz došlo k poklesu živných látek zároveň s nárůstem absorpance, zde je tedy úbytek živin pravděpodobně způsoben zvýšeným počtem buněk. Pokles živin u vzorku v točivém poli o frekvenci 500 Hz je zanedbatelný a spadá do chyby měření.

10 Závěr

V rámci předkládané práce byl pozorován vliv různých frekvencí (50, 250 a 500 Hz při magnetické indukci 30 mT) točivého magnetického pole a vliv pole stacionárního (30 mT), generovaného permanentními magnety, na bakterii *Escherichia coli* a na kvasinku *Saccharomyces cerevisiae*.

Byl pozorován rozdíl v účincích na prokaryotickou buňku (v podobě gramnegativní bakterie *E. coli*) a na buňku eukaryotickou (v podobě kvasinky *Sachcaromyces cerevisiae*). V krátkosti lze konstatovat, že cíle práce byly splněny.

V případě *E. coli* byly pozorované účinky natolik malé, že se pravděpodobně jednalo o chybu měření. Při aplikaci stacionárního magnetického pole byl růst inhibován maximálně o 4,3 %. Obdobných výsledků bylo dosaženo u vzorků v točivém poli, kde byl růst inhibován maximálně o 4,8 %. U kvasinky *Saccharomyces cerevisiae* byl pozorován rovněž negativní účinek stacionárního magnetického pole. Nicméně opět byly výsledky ne zcela přesvědčivé, v průměru došlo k inhibici růstu o 7,5 %. U točivého magnetického pole o frekvenci 250 Hz byl zjištěn pozitivní vliv na růst kvasinky, po aplikaci tohoto pole došlo k nárůstu o 17,8 % v porovnání s kontrolním vzorkem. Překvapivým zjištěním bylo, že točivé magnetické pole o frekvenci 50 Hz způsobovalo u kvasinek zvýšený příjem živin (o 34,5 %), pravděpodobně v důsledku zvýšené aktivity buněk. Žádný další prokazatelný účinek na mikroorganismy nebyl zjištěn.

Z naměřených výsledků nelze tvořit komplexní závěry, výsledky se týkají pouze námi provedených experimentů (v daný expoziční čas, za daných podmínek, teploty, intenzity magnetického pole a frekvencí točivého magnetického pole). Nicméně výsledky této práce poukazují na to, že prokaryotické buňky (konkrétně bakterie) jsou pravděpodobně vůči magnetickému poli značně odolné. Rozdíl v účinku na bakterie a kvasinky může být způsoben jejich odlišným tvarem a velikostí, odlišnou stavbou buněčné stěny, rozdílným způsobem rozmnožování nebo celkově typem buňky (prokaryotická, eukaryotická).

Jako další postup lze navrhnout opakování těchto experimentů a také provedení experimentů pro další typy mikroorganismů, aby bylo možné lépe posoudit rozdíl v působení (elektro)magnetického pole na prokaryotickou a eukaryotickou buňku.

V případě pozorování účinků (elektro)magnetického pole na eukaryotickou buňku by bylo zajímavé do experimentu zahrnout i rostlinné a živočišné (lidské) buňky, nebo dokonce buňky rakovinné, které by se v jistém směru mohly chovat jako buňky prokaryotické. Přínosné by bylo také vyhodnotit vliv (elektro)magnetického pole pro různý expoziční čas, při různé teplotě prostředí a při různé intenzitě a frekvenci pole. Také by bylo přínosné pozorovat, zda jsou účinky magnetického pole trvalé, či dočasné, resp. vratné, či nevratné.

Seznam bibliografických citací

- [1] MAYER, Daniel. *Teorie elektromagnetického pole*. 3. vyd., přeprac. Plzeň: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta, 2001, 357 s. ISBN 80-708-2826-9.
- [2] MYSLÍK, Jiří. *Elektromagnetické pole: základy teorie*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1998, 153 s. ISBN 80-86056-43-0.
- [3] SEDLÁČEK, Martin. *Analýza vplyvu rádiových frekvenci na biologický objekt* [online]. 2012 [cit. 2015-04-01]. ISBN 978-80-227-3508-7. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=12961>. Ústav elektroniky a fotoniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave.
- [4] SEDLÁK, Bedřich a Ivan ŠTOLL. *Elektrina a magnetismus*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Academia, 2002, 632 s. ISBN 80-200-1004-1.
- [5] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J. *Prokaryotické organismy*. Encyklopedie hydrobiologie: výkladový slovník [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=P035>
- [6] JULÁK, Jaroslav. *Úvod do lékařské bakteriologie*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2006, 404 s. ISBN 80-246-1270-4.
- [7] KAPRÁLEK, František. *Základy bakteriologie*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 1999, 241 s. ISBN 80-7184-811-5.
- [8] ŠTINDL, Přemysl. Prokaryotická buňka.: [online]. 2009 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: http://www.google.cz/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=0CAMQjxw&url=http%3A%2F%2Fwww.zshk.cz%2Fvlab%2F3.%2520Prokaryotick%25C3%25A1%2520bu%25C5%2588ka%2F3.1.%2520Prokaryotick%25C3%25A1%2520bu%25C5%2588ka.ppt&ei=DKo3VffJOcX2O_z2gMAM&bvm=bv.91071109,d.ZGU&sig=AFQjCNG77WEI8B2m9RNmR6JXjBv5kWfQwA&ust=1429797492517866
- [9] Mikrobiologie a virologie: Bakterie. Biomach, výpisky z biologie [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <http://www.biomach.cz/mikrobiologie/bakterie>
- [10] *Klinicky významné bakterie*. 1. vyd. Praha: Triton, 2012, 123 s. ISBN 978-80-7387-588-6.
- [11] SCHINDLER, Jiří. *Mikrobiologie: pro studenty zdravotnických oborů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010, 223 s. ISBN 978-802-4731-704.

- [12] CAREY, Roberta B, Mindy Gail SCHUSTER a Karin L MCGOWAN. *Lékařská mikrobiologie v klinických případech*. Vyd. 1. Praha: Triton, 2011, 321 s. ISBN 978-807-3874-803.
- [13] BROWN, Mark. Geneticists hack the E. coli genome with new DNA editing technique. [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://www.wired.co.uk/news/archive/2011-07/15/hacking-the-genome>
- [14] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J. *Eukaryotické organismy*. Encyklopedie hydrobiologie : výkladový slovník [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=E005>
- [15] KOVÁŘ, Jan. BUNĚČNÁ A MOLEKULÁRNÍ BIOLOGIE: Prokaryontní buňka. [online]. [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: http://old.lf3.cuni.cz/studium/materialy/modul1b/zimni_a_letni_semestr_05.doc
- [16] Miniatlasy mikroorganismů: *SACCHAROMYCES CEREVISIAE Hansen*. [online]. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2008 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/obsah/fakulty/fpbt/ostatni/miniatlas/sacch.htm>
- [17] *S. cerevisiae* NCYC 1026. In: [online]. [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://spitalfieldslife.com/2013/06/20/the-return-of-trumans-yeast/s-cerevisiae-ncyc-1026/>
- [18] STRAŠÁK, Luděk, Vladimír VETTERL a Jan ŠMARD. *Effects of low-frequency magnetic fields on bacteria Escherichia coli*. Bioelectrochemistry [online]. 2002, vol. 55, 1-2, s. 161-164 [cit. 2015-03-31]. DOI: 10.1016/S1567-5394(01)00152-9. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1567539401001529>
- [19] FOJT, Lukáš, Luděk STRAŠÁK, Vladimír VETTERL a Jan ŠMARD. *Comparison of the low-frequency magnetic field effects on bacteria Escherichia coli, Leclercia adecarboxylata and Staphylococcus aureus*. Bioelectrochemistry [online]. 2004, vol. 63, 1-2, s. 337-341 [cit. 2015-03-31]. DOI: 10.1016/j.bioelechem.2003.11.010. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1567539404000611>
- [20] FOJT, Lukáš, Petr Klapetek, Luděk STRAŠÁK a Vladimír VETTERL. *50Hz magnetic field effect on the morphology of bacteria*. Micron [online]. 2009, vol. 40,

issue 8, s. 918-922 [cit. 2015-03-31]. DOI: 10.1016/j.micron.2009.06.009. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968432809000936>

[21] NOVÁK, Jan, Luděk STRAŠÁK, Lukáš FOJT, Iva SLANINOVÁ a Vladimír VETTERL. *Effects of low-frequency magnetic fields on the viability of yeast Saccharomyces cerevisiae*. Bioelectrochemistry [online]. 2007, vol. 70, issue 1, s. 115-121 [cit. 2015-04-01]. DOI: 10.1016/j.bioelechem.2006.03.029. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1567539406000351>

[22] RUIZ-GÓMEZ, M.J, M.I PRIETO-BARCIA, E RISTORI-BOGAJO a M MARTÍNEZ-MORILLO. *Static and 50 Hz magnetic fields of 0.35 and 2.45 mT have no effect on the growth of Saccharomyces cerevisiae*. Bioelectrochemistry [online]. 2004, vol. 64, issue 2, s. 151-155 [cit. 2015-04-01]. DOI: 10.1016/j.bioelechem.2004.04.003. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1567539404001859>

[23] MITTENZWEY, R., R. SÜBMUTH, W. MEI. *Effects of extremely low-frequency electromagnetic fields on bacteria—the question of a co-stressing factor*. Bioelectrochemistry and Bioenergetics [online]. 1996, vol. 40, issue 1, s. 429-480 [cit. 2015-03-31]. DOI: 10.1007/978-4-431-54367-1_11. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0302459895005048>

[24] FILIPIČ, Jasmina, Barbara KRAIGHER, Brigita TEPUŠ, Vanja KOKOL a Ines MANDIC-MULEC. *Effects of low-density static magnetic fields on the growth and activities of wastewater bacteria Escherichia coli and Pseudomonas putida*. Bioresource Technology [online]. 2012, vol. 120, s. 225-232 [cit. 2015-03-31]. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.06.023. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852412009273#>

[25] KOHNO, Masahiro, Muneyo YAMAZAKI, Isao KIMURA a Moriyasu WADA. *Effect of static magnetic fields on bacteria: Streptococcus mutans, Staphylococcus aureus, and Escherichia coli*. Pathophysiology [online]. 2000, vol. 7, issue 2, s. 143-148 [cit. 2015-03-31]. DOI: 10.1016/s0928-4680(00)00042-0. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928468000000420>

[26] DINI, Luciana a Luigi ABBRO. *Bioeffects of moderate-intensity static magnetic fields on cell cultures*. Micron [online]. 2005, vol. 36, issue 3, s. 195-217 [cit. 2015-03-31]. DOI: 10.1016/j.micron.2004.12.009. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968432805000090>

- [27] BOHATÁ, Martina. *Vliv magnetického pole na bakteriální biofilm*. Liberec, 2013. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci - Ústav zdravotnických studií. Vedoucí práce Ing. Lucie Křiklavová, Ph.D.
- [28] BERG, Hermann. *Problems of weak electromagnetic field effects in cell biology*. Bioelectrochemistry and Bioenergetics [online]. 1999, vol. 48, issue 2, s. 355-360 [cit. 2015-03-31]. DOI: 10.1016/s0302-4598(99)00012-4. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0302459899000124>
- [29] HIMEDIA Technical Data: Soyabean Casein Digest Agar (Tryptone Soya Agar (Casein Soyabean Digest Agar). In: [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <https://www.himedialabs.com/TD/M290.pdf>
- [30] KVASNICOVÁ, Vladimíra. *Analytické metody: Spektrofotometrie*. In: [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: http://www.lf3.cuni.cz/opencms/export/sites/www.lf3.cuni.cz/cs/pracoviste/chemie/vyu_ka/studijni-materialy/CCBGCH21/pro-kruhy/vk_analyticke_metody_web.pdf
- [31] konzultace Ing. Lucie Křiklavová, Ph.D., NTI Ústav nových technologií a aplikované informatiky, TUL, CxI
- [32] *Hach-Lange*: CHSK kyvetový test 50-300 mg/L O₂. [online]. [cit. 2015-04-08]. Dostupné z: <http://www.hach-lange.cz/chsk-kyvetovy-test-50-300-mg-l-o2/product-downloads?id=25651592776&callback=qs>
- [33] *Life technologies*: LIVE/DEAD® BacLight™ Bacterial Viability Kit, for microscopy. [online]. [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://www.lifetechnologies.com/order/catalog/product/L7007>
- [34] konzultace Ing. Martin Truhlář, Ph.D., Ústav mechatroniky a technické informatiky, FM, TUL

Přílohy

Příloha A

1. Tabulka: Viabilita buněk, 1. experiment

	Viabilita [%]	
	<i>E. coli</i>	<i>S. cerevisiae</i>
Počáteční (Čas 0 hod)	81	65
Kontrola (Čas 72 hod)	56	99
Stacionární pole (Čas 72 hod)	59	96
Točivé pole o frekvenci 50 Hz (Čas 72 hod)	97	92

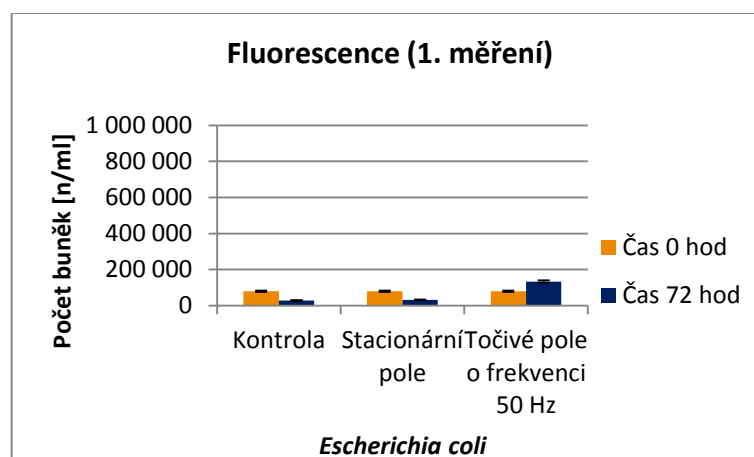
2. Tabulka: Viabilita buněk, 2. experiment

	Viabilita [%]	
	<i>E. coli</i>	<i>S. cerevisiae</i>
Počáteční (Čas 0 hod)	99	99
Kontrola (Čas 72 hod)	92	88
Stacionární pole (Čas 72 hod)	86	94
Točivé pole o frekvenci 250 Hz (Čas 72 hod)	90	80

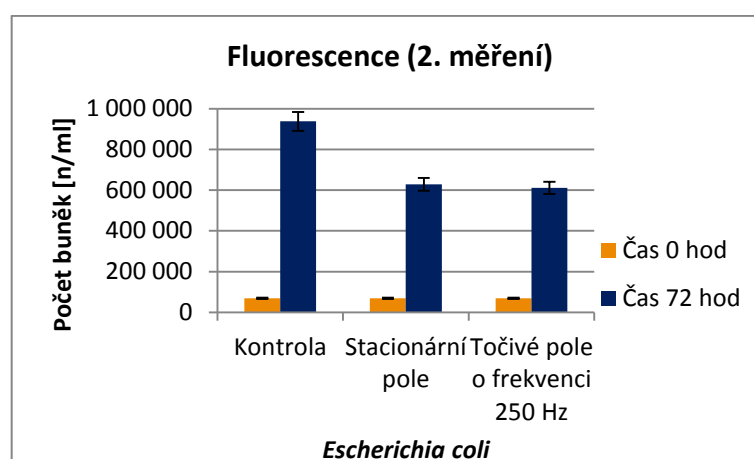
3. Tabulka: Viabilita buněk, 3. experiment

	Viabilita [%]	
	<i>E. coli</i>	<i>S. cerevisiae</i>
Počáteční (Čas 0 hod)	97	99
Kontrola (Čas 72 hod)	98	96
Stacionární pole (Čas 72 hod)	98	99
Točivé pole o frekvenci 500 Hz (Čas 72 hod)	98	93

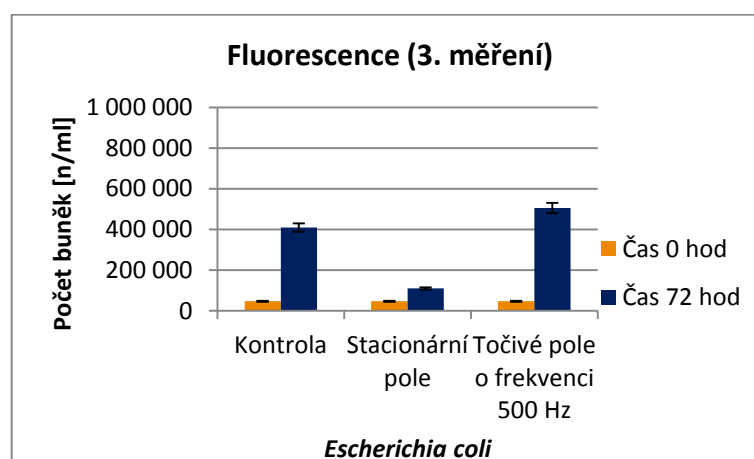
Příloha B



1. Graf: Počet buněk, *E. coli*, 1. experiment

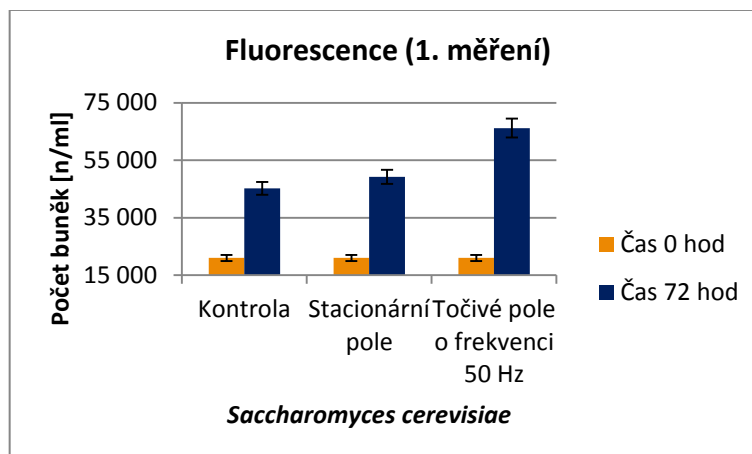


2. Graf: Počet buněk, *E. coli*, 2. experiment

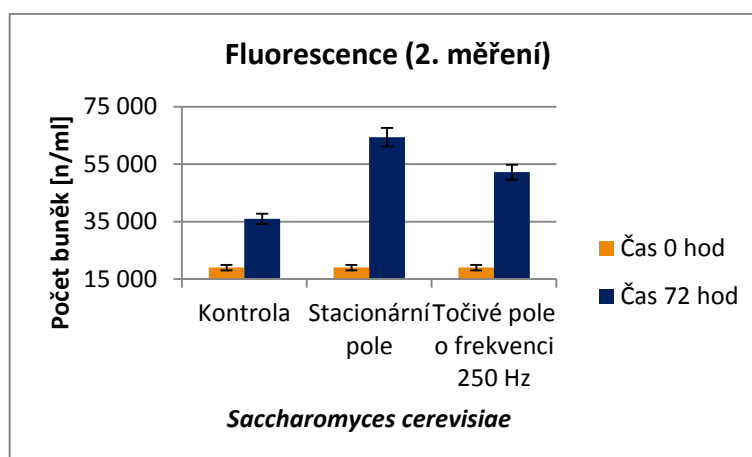


3. Graf: Počet buněk, *E. coli*, 3. experiment

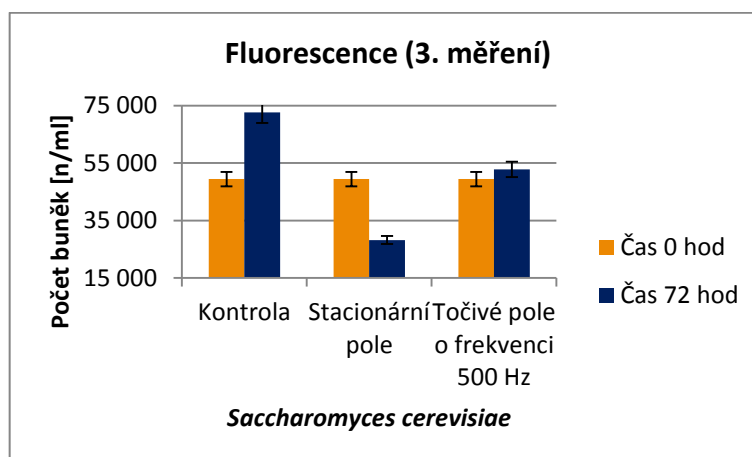
Příloha C



1. Graf: Počet buněk, *S. cerevisiae*, 1. experiment



2. Graf: Počet buněk, *S. cerevisiae*, 2. experiment



3. Graf: Počet buněk, *S. cerevisiae*, 3. experiment